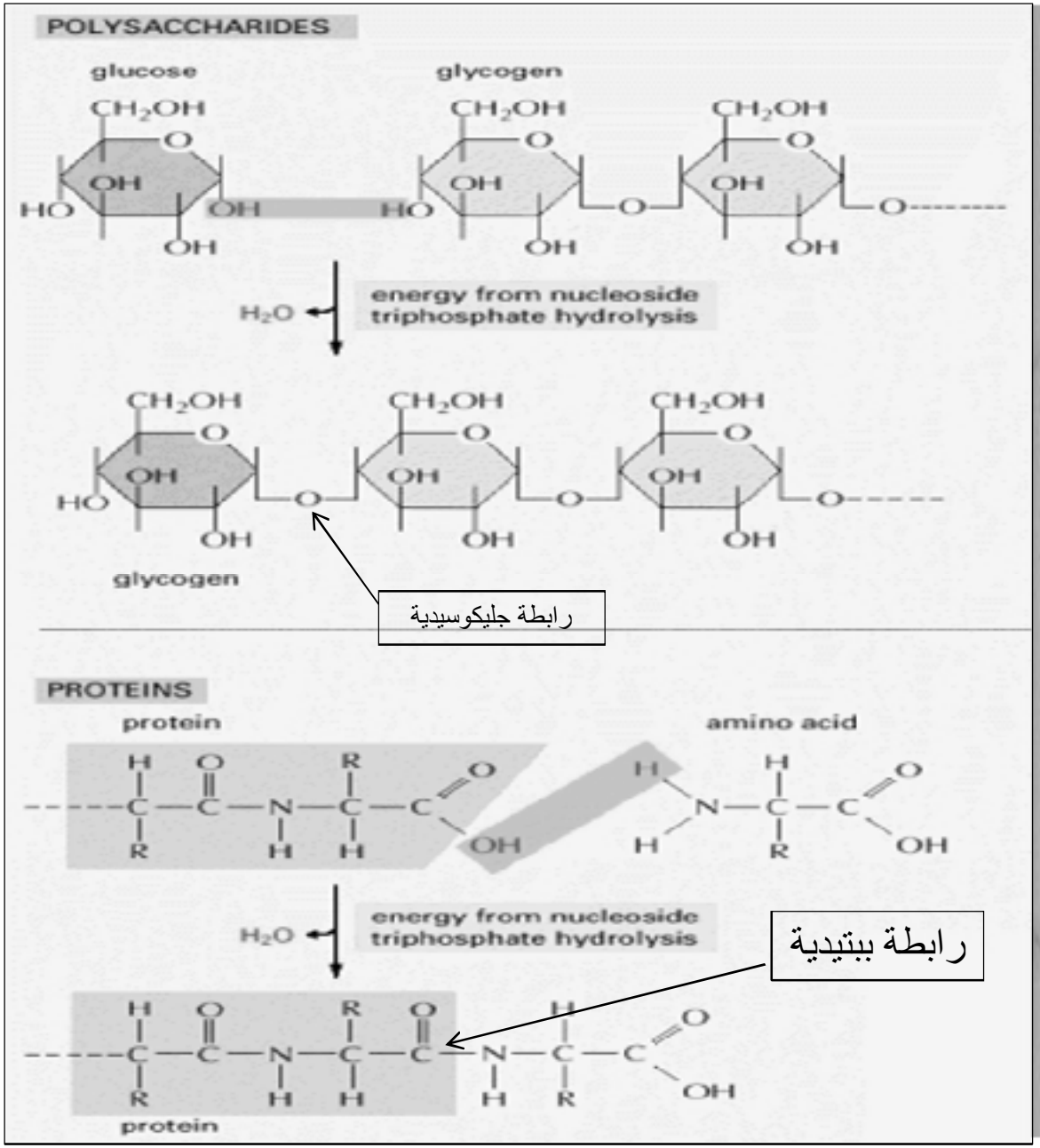
الأيض النباتي
Plant Metabolism

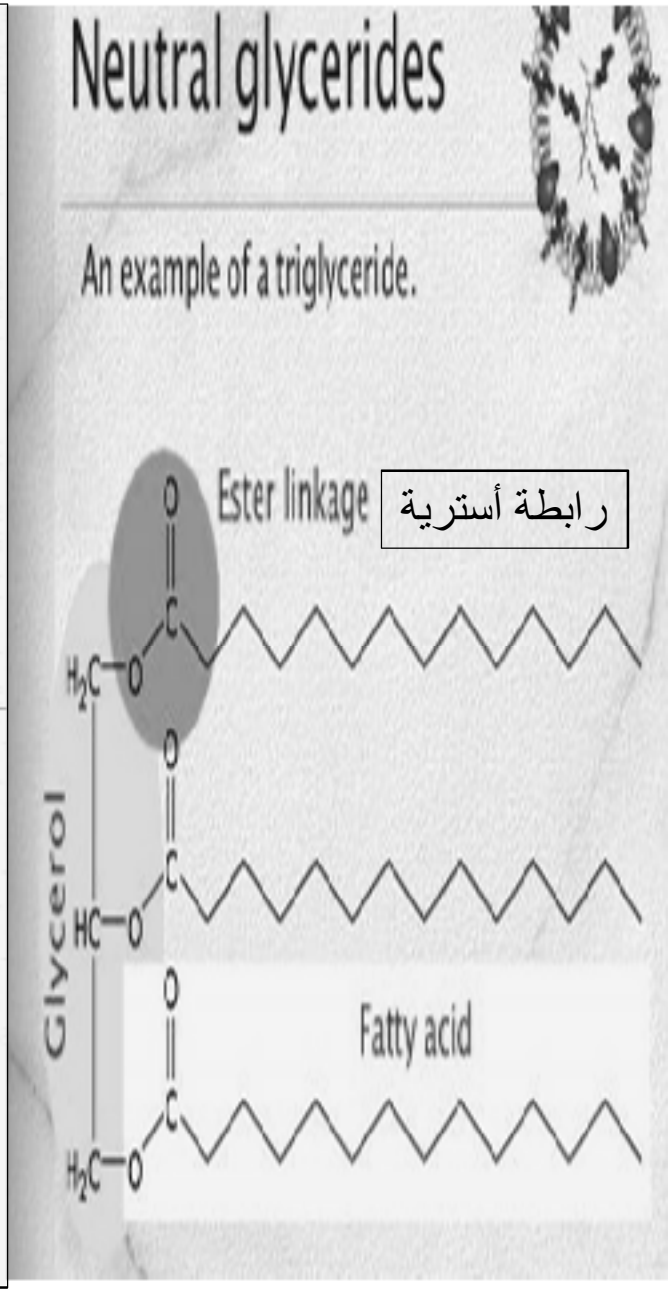
تعرف جميع التحولات الكيمياوية التى تتم داخل الخلايا بالأيض (Metabolism) ويشمل الأيض

بناء (Anabolism) والتي تشمل تكوين مواد معقدة + طاقة مختزنة --- البناء الضوئي

وهدم (Catabolism) والتي تشمل تحليل مواد المعقدة + تحرير الطاقة على شكل ATP ------ عملية التنفس

وتتم هذه العمليات المختلفة معاً وفي وقت واحد داخل الخلايا الحية ، وسندرس في موضوع الأيض بعض التحولات الحيوية التي تحدث للمركبات الكربوهيدراتية والبروتينية والدهنية وأيض الكبريت والنتروجين .


POLYSACCHARIDES
glucose
glycogen
energy from nucleoside triphosphate hydrolysis
glycogen
رابطة جليكوسيدية
PROTEINS
protein
amino acid
energy from nucleoside triphosphate hydrolysis
رابطة ببتيدية
protein


Neutral glycerides
An example of a triglyceride.
Ester linkage
رابطة أسترية
Glycerol
Fatty acid

التحولات الحيوية في الكربوهيدرات

الأيض الكربوهيدراتي Carbohydrate metabolism

- تتكون الكربوهيدرات البسيطة (السكريات الأحادية الفوسفاتية) من عملية البناء الضوئي في الأجزاء الخضرية للنبات
- وقد تتحول إلى أشكال أخرى من الكربوهيدرات مثل السكروز الذي يجتمع وينتقل أو يتحول الى السكريات المضاعفة
- كما أن الجذور والدرنات والثمار والبذور تكون السكريات المضاعفة الخاصة بها والتحولات الحيوية الجارية على الكربوهيدرات المتعلقة بعمليات البناء والهدم أهمها عملية الفسفرة .

عملية الفسفرة Phosphorylation

تعد عملية الفسفره نقطة البداية في العمليات الحيوية التي تحدث في مختلف الكربوهيدرات فالكلكوز والفركتوز يجب أن يفسفرا بواسطه ATP ليكونا السكريات الفوسفاتية glucose) (6- p- و (Fructose -6- p) وتتم هذه التفاعلات كخطوة أولى في المسار الكلايكولي

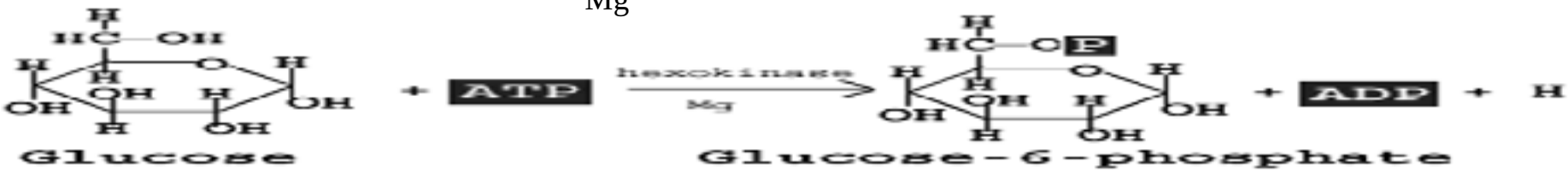
(Glycolysis) عند هدم الكلكوز في الأوساط الاحيائية إذ لاتوجد بالخلايا الحية إنزيمات قادرة على هدم جزيئات السكر إلا بعد تحوله إلى إسترفوسفات . وهكذا يتضح أن فسفرة السكر إنما هي وسيلة لجعل جزيئاته قابلة للتحولات الأيضية

لذا فأن

الأيض الكربوهيدراتي ، هو في الواقع : أيض فوسفات السكر ولايمكن تكوين إستر فوسفاتي للسكر عن طريق تفاعل بسيط بين جزيء السكر وأيون الفوسفات ، لأن موضع إتزان هذا التفاعل ، يجعل حدوثه غير ممكن من الناحية الديناميكية

والواقع أن تخليق فوسفات السكر في النظم الإحيائية ، يتطلب حصول السكر على مجموعة فوسفات عالية الطاقة تنشطر من ATP وتكون إستراً مع إحدى مجموعات السكر الكحولية . والإنزيم المحفز لهذا التفاعل هو إنزيم هكسو كاينيز (Hexokinase) كما في المعادلة التالية :

$$\text{Glucose} + \text{ATP} \xrightarrow[\text{Mg}]{\text{hexokinase}} \text{ADP} + \text{Glucase -6- P}$$



Phosphorylation عملية الفسفرة

وهكذا في بقية المعادلات التالية :

- Fructose + ATP $\xrightarrow{\text{hexokinase}}$ ADP + Fructose -6- P
- Glucose -6- phosphat $\underset{\text{phosphoglucomutase}}{\rightleftharpoons}$ glucose -1- Phosphate
- Glucose -6-phosphate $\underset{\text{Isomerase}}{\overset{\text{phosphoglucomutase}}{\rightleftharpoons}}$ Fructose -6- Phosphate

تمثيل وتحلل السكروز Synthesis and Degradation of Sucrose

اولاَ: تمثيل السكروز

يتضمن تمثيل السكروز في النباتات الراقية مشاركة كلكوز يوريدين ثنائي الفوسفات (UDPG) ويعمل إنزيم (Sucros Synthetase) كمحفز لمثل هذا التفاعل:

حيث ينقل سكرالكلكوز من يوريدين ثنائي الفوسفات (UDPG) الى سكر (الفركتوز) وفي بعض الأحيان يحدث تفاعل مماثل وهو نقل سكر الكلكوز من (UDPG) الى (سكر الفركتوز –٦- فوسفات) وهذا التفاعل يحفز بإنزيم

(Sucrose phosphate synthetase)

- **الخطوة الأولى في تكوين السكروز**

هي تكوين اليوريدين ثنائي الفوسفات كلكوز (UDPG) ويحدث التفاعل بمساعدة الإنزيم

(Nucleotide sugar pyrophosphorylase)

Glucose -1- P + UTP $\rightleftharpoons$ UDPG + P – P

كلكوز يوريدين ثنائي الفوسفات **يوريدين ثلاثي الفوسفات**

ويتم هذا التفاعل عكسياً وبحرية

الخطوة الثانية هي:

إنتقال وحدة الكلكوز من UDPG إلى الفركتوز بواسطه انزيم (Sucrose synthetase)
كما في المعادلة التالية: $UDPG + Fructose \rightleftharpoons Sucrose + UDP$

أو تنتقل وحدة الجلكوز بواسطة إنزيم (Sucrose phosphate synthetase) إلى (الفركتوز -٦- فوسفات) ويتكون سكروز فوسفيت والذي يتحلل بدوره مائياً الى السكروز بفعل إنزيم ؛ كما في Phosohatase المعادلتين التاليتين

1) $UDPG + Fructose\text{-}6\text{-}P \rightleftharpoons UDP + Sucrose\ phosphate$

2) $Sucrose\ phosphate + H_2O \xrightleftharpoons{phosphatase} Sucrose + H_3PO_4$

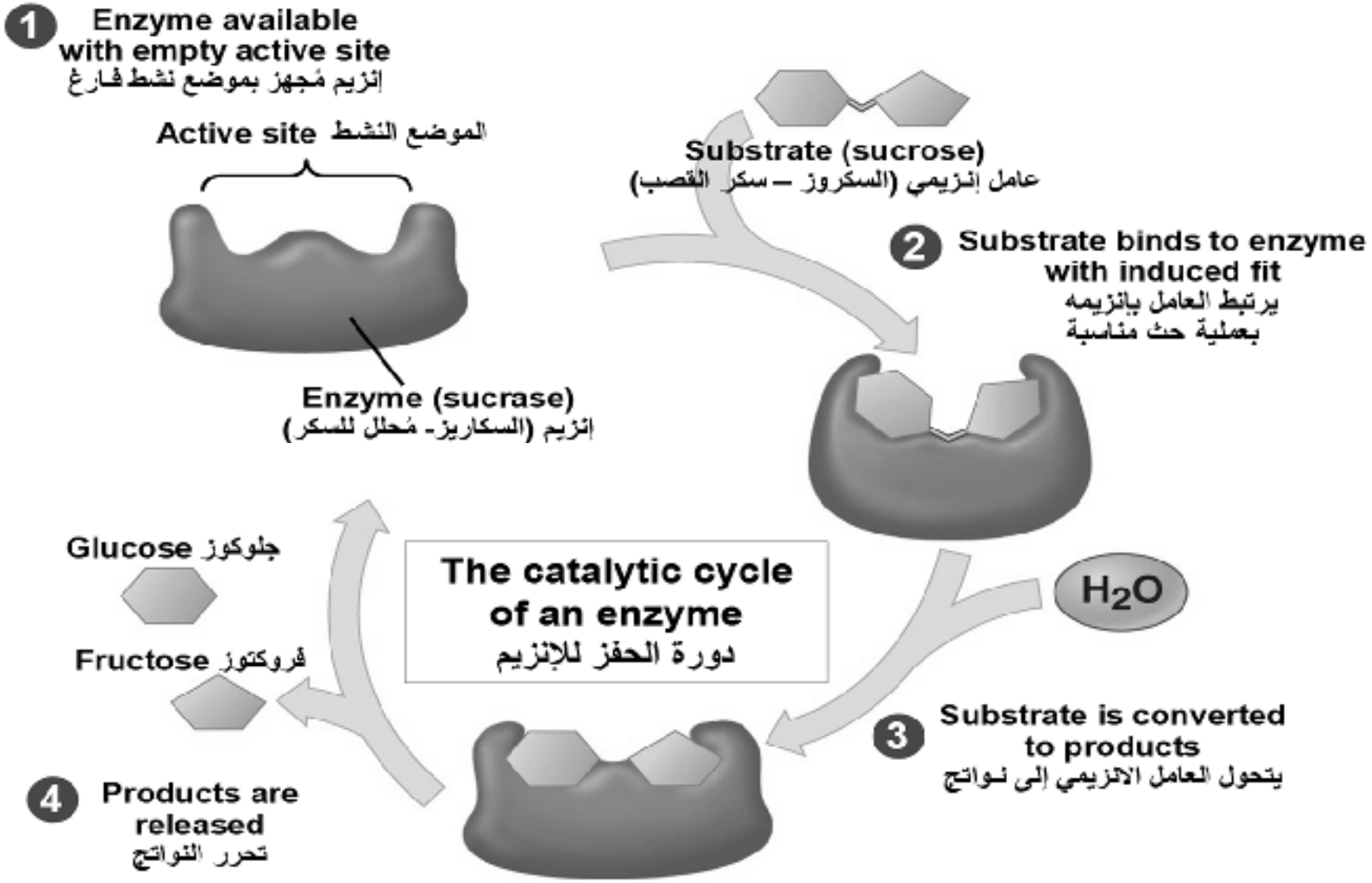
ثانياً: تحلل السكروز Sucrose Degradation

يحفز إنزيم الإنفرتيز (Invertase) تحليل السكروز مائياً معطياً سكر الجلكوز والفركتوز

$Sucrose + H_2O \xrightarrow{Invertase} glucose + Fructose$

وجد أن هرمون حامض الجبرليك يشجع تكوين الإنفرتيز لذلك فقد يكون لهذا الهرمون دور في عمليه تحلل السكروز

أولاً: تمثيل السكروز Sucrose synthesis

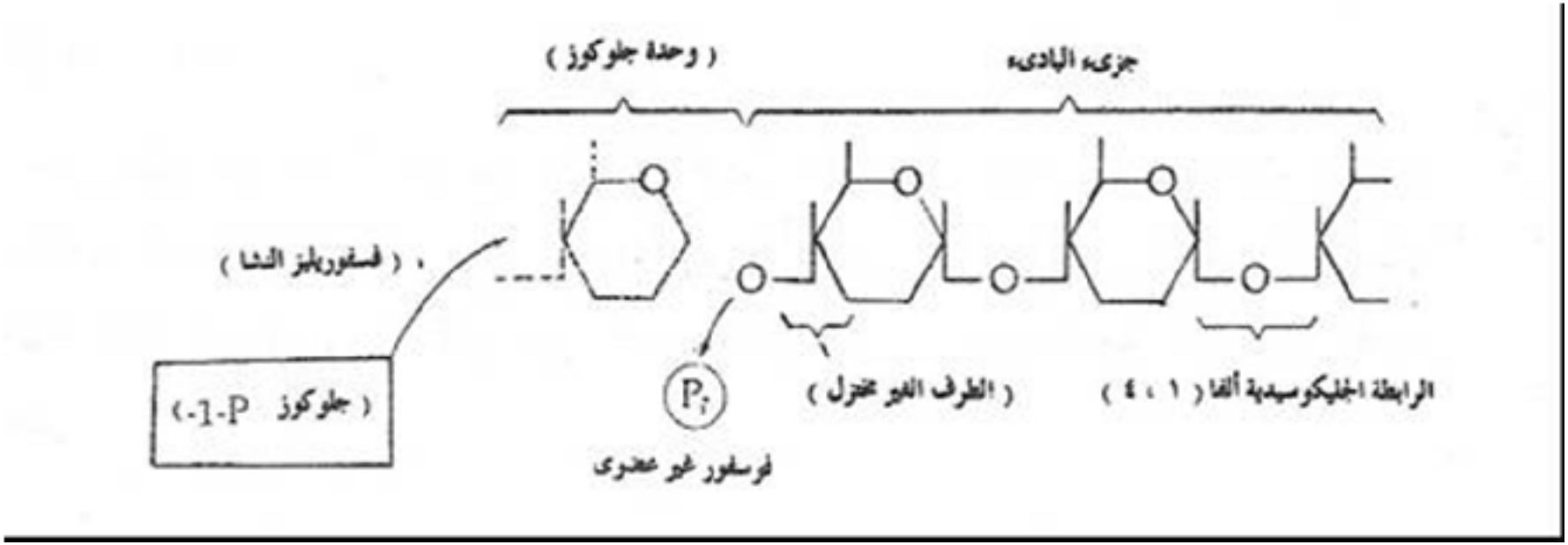


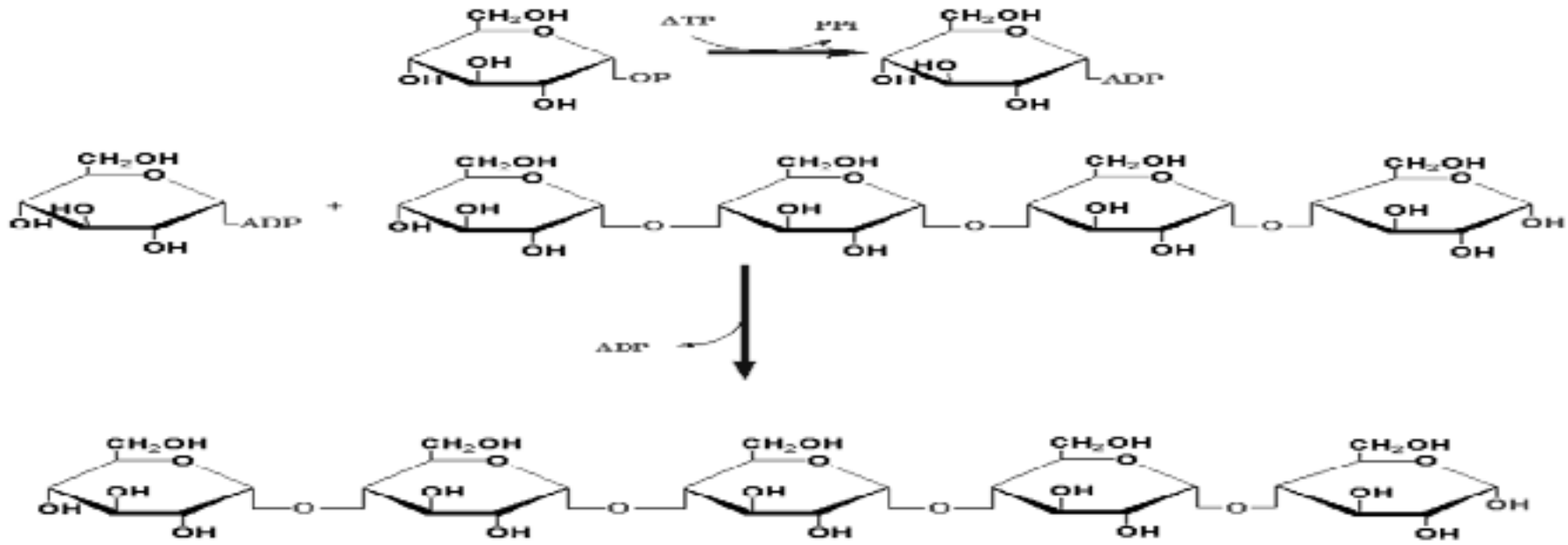
تمثيل وتحلل النشا Synthesis and Degradation of starch

وجد أن بناء النشا يخضع لتنظيم إنزيمات مختلفة نذكر منها ما يلي:

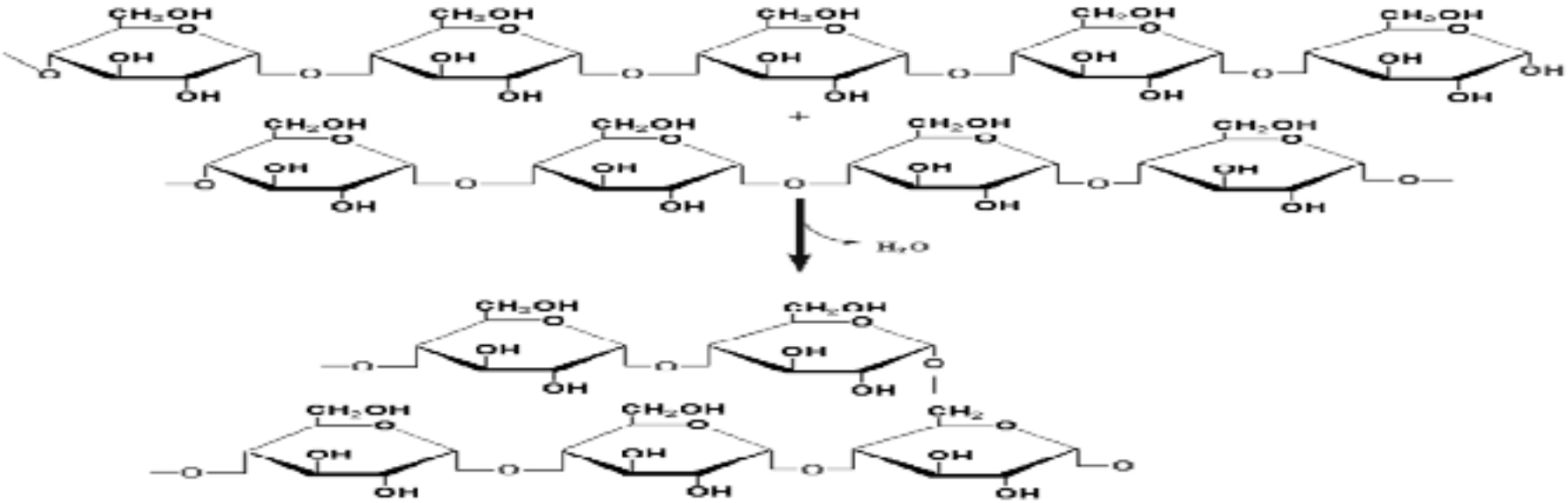
بناء النشا بواسطة إنزيم فوسفوريليز النشا.

- وجدالعالم هانز أنه في وجود (سكر الكلكوز – ١- فوسفيت) وإنزيم (فسفوريليز النشا) يتكون بولمر (Polymer) من جزيئات الكلكوز وتضاف وحدات من هذه الجزيئات وحده وحده الى الطرف الغير مختزل لبادئة أو مستقبل (Acceptor) تتكون من ثلاث وحدات من الكلكوز على الأقل مكوناً بذلك سلسلة من جزيء الاميلوز كما في الأشكال التالية :

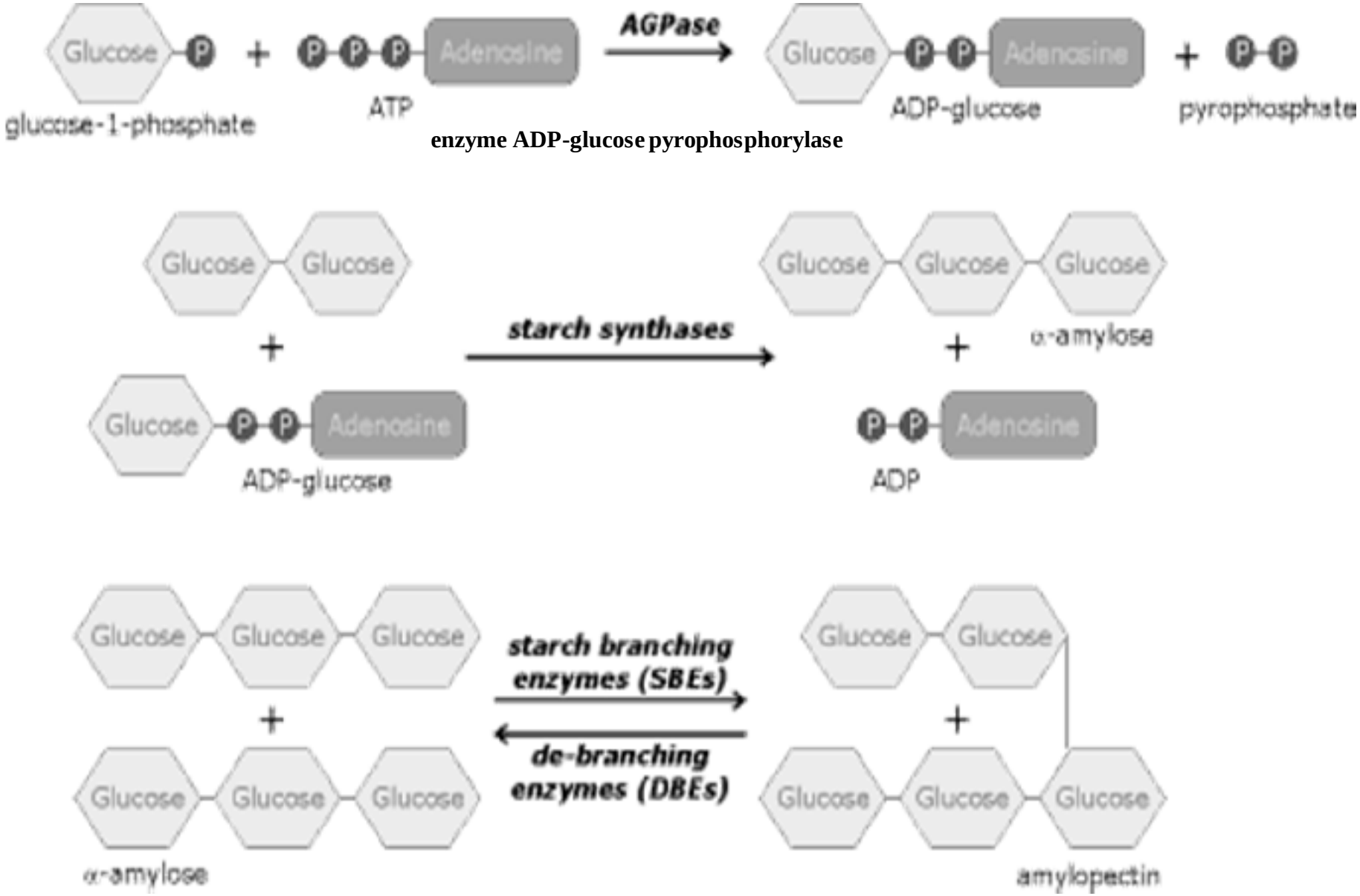


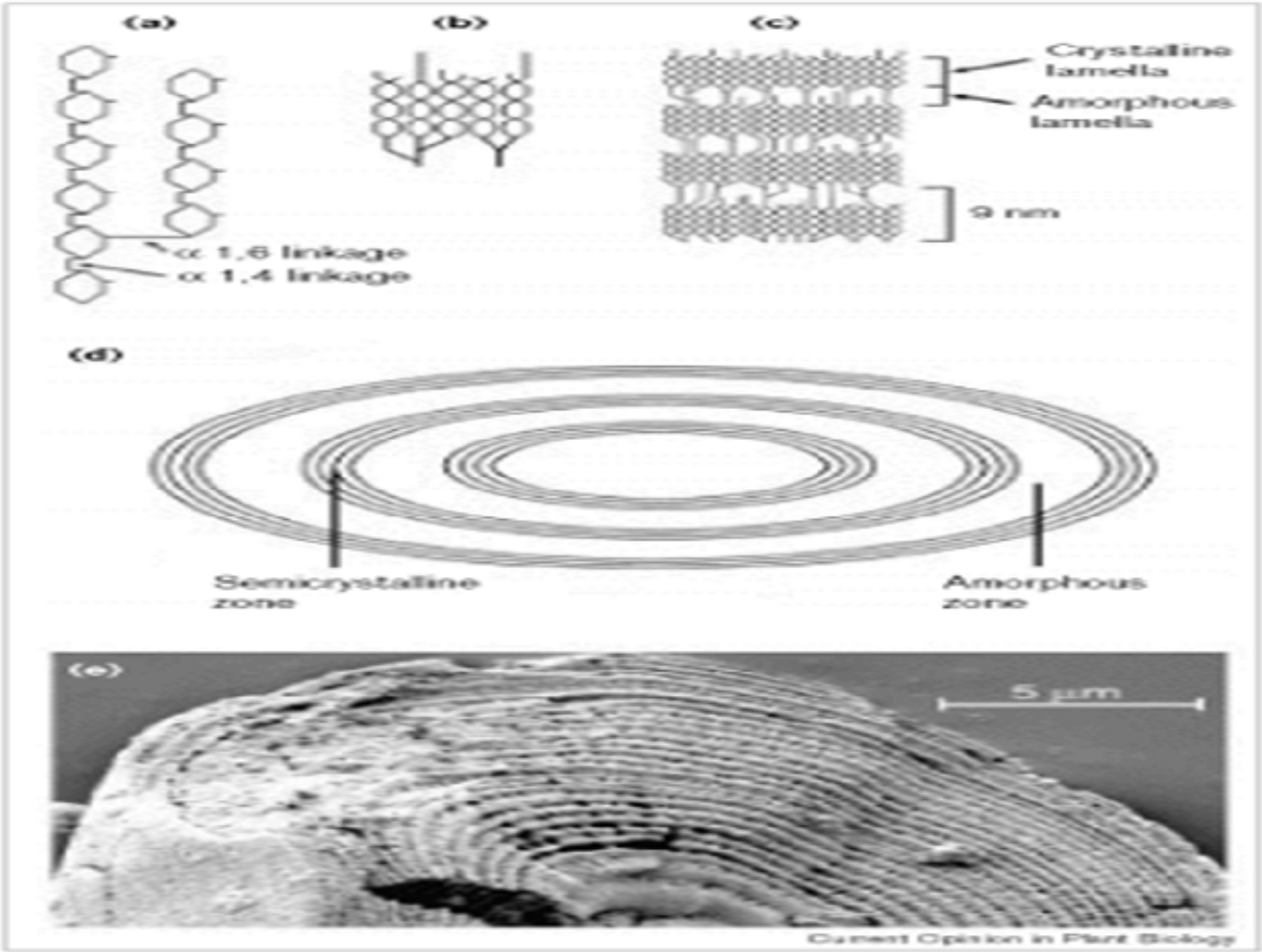


glucan 20 ~ These branches have an average length of units



Simplified representation of the normal pathway of starch synthesis in plants




(a)
(b)
(c)
Crystalline lamella
Amorphous lamella
9 nm
α 1,6 linkage
α 1,4 linkage
(d)
Semicrystalline zone
Amorphous zone
(e)
5 μm

٢- بناء النشا بواسطة إنزيم UDPG transglycosylase

- وهذا الإنزيم له المقدرة على اضافة الكلكوز من UDPGإلى جزيء البادئ أو المستقبل ويمكن أن يكون هذا المستقبل (سكرالمالتوز) يتكون من وحدتين او ثلاث وحدات أو أربع وحدات من الكلكوز أو حتى جزيء نشا كما في التالي:

$$UDPG + acceptor \longrightarrow UDP + (Glucose)_{n+1}$$

- ويتكون اليوريدين ثنائي الفوسفات كلكوز(UDPG) كما في حالة السكروز سابقاً من (الكلكوز -٦- فوسفيت) حيث يتحول إلى (كلكوز -١- فوسفيت) بواسطة إنزيم فوسفو كلكوميتيز (Phosphoglucomutase) ثم يتفاعل (UTP) مع (الكلكوز -١- فوسفات) في وجود إنزيم (Nucleotide sugar pyrophosphorylase) لتكوين (UDPG) أو مع ATP لتكوين (ADPG)

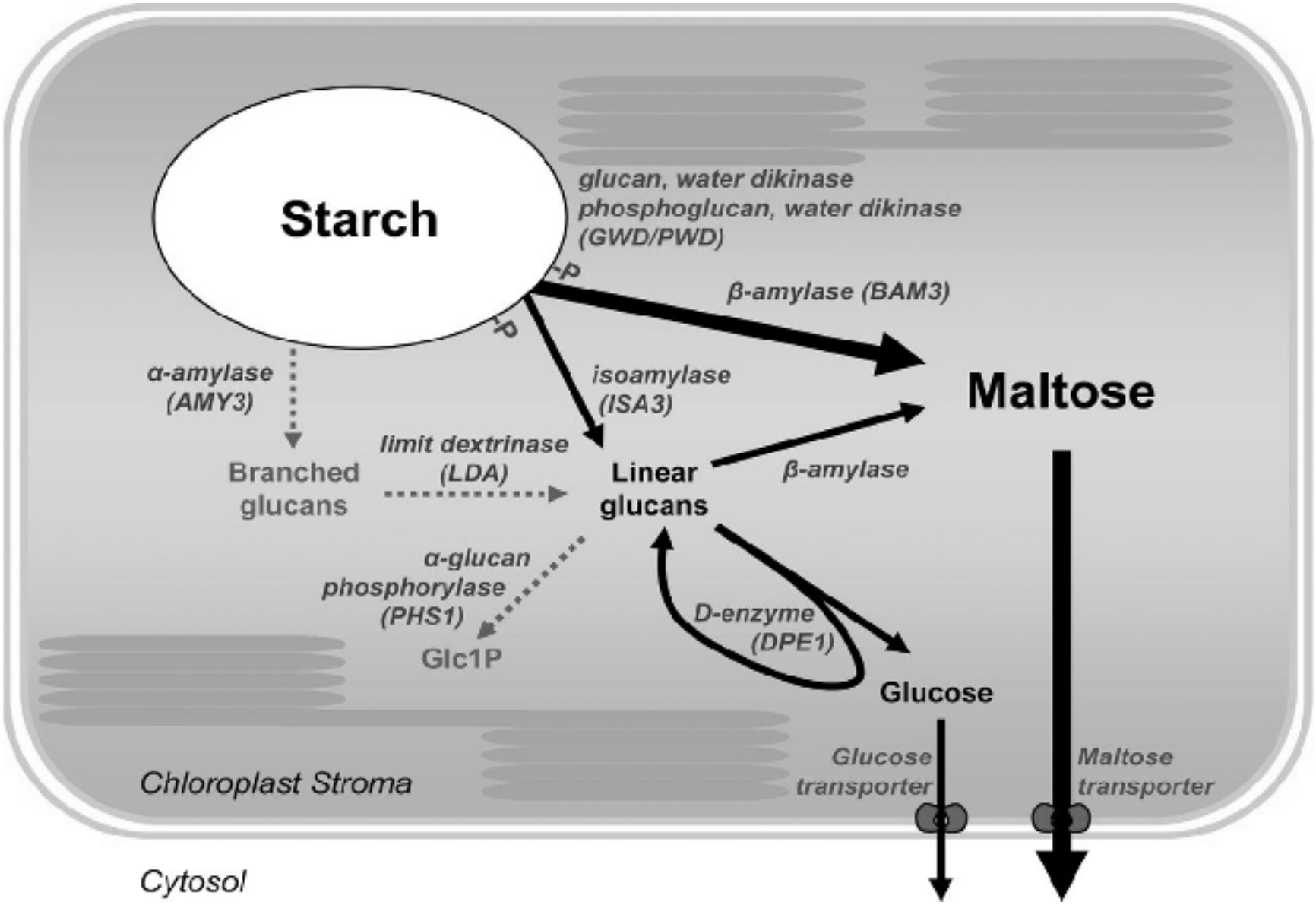
تحلل النشا Starch Degradation

يوجد اربعة أنواع من الإنزيمات المتعلقة بهدم وتحلل النشا إلى سكرالمالتوز وهي :

١ - إنزيم ألفا أميليز a - amylase ٢- إنزيم بيتا أميليز B - amylase

٣ - فوسفوريليز النشا Starch phosphorylase ٤- الإنزيم (ر) R- enzyme

Starch Degradation تحلل النشا

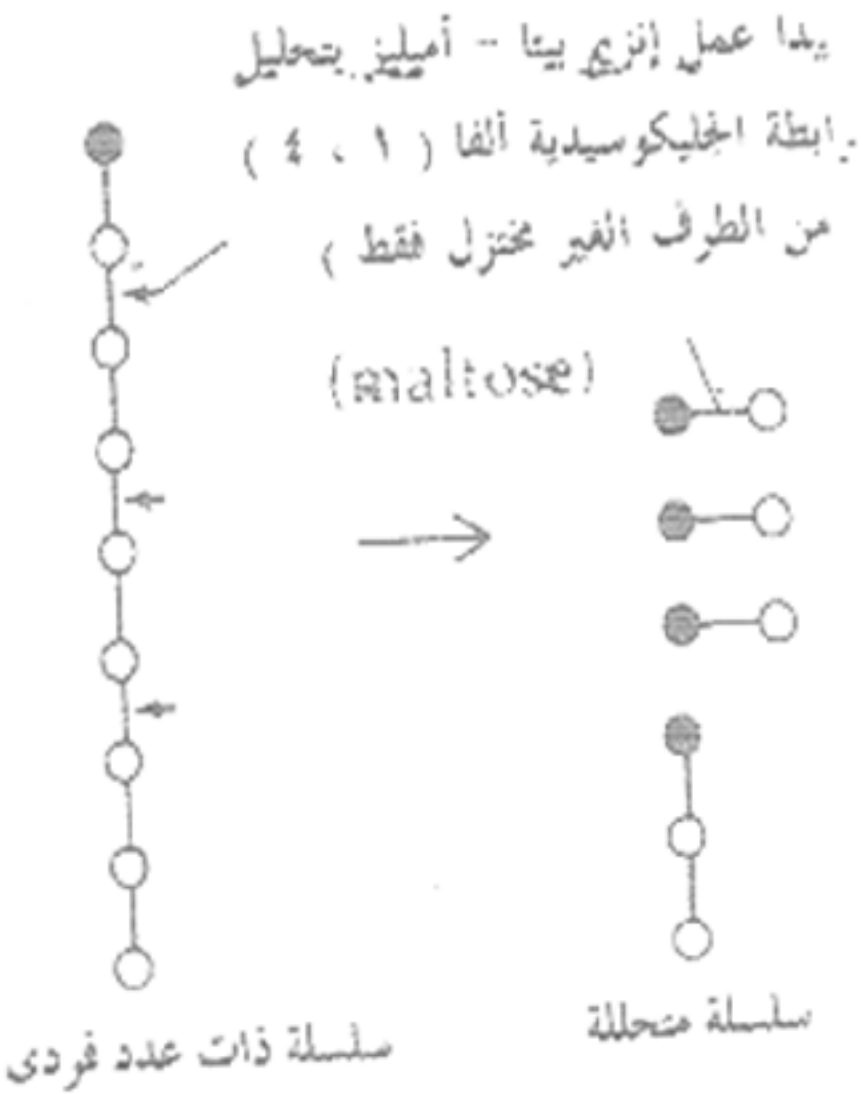


إنزيم ألفا أميليز وإنزيم بيتا أميليز

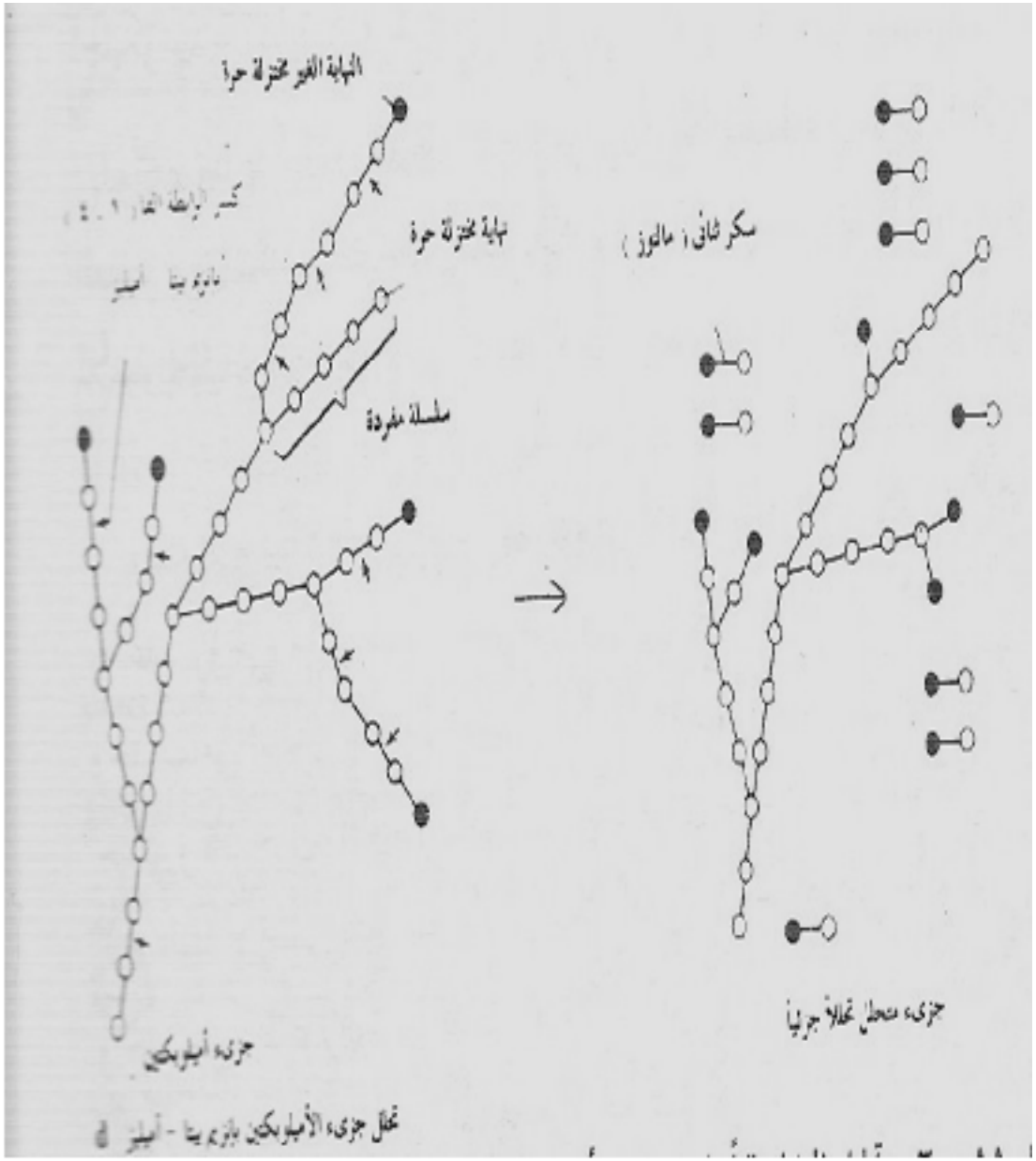
- يعتبر هذان الإنزيمان ذواتا اهمية في تحليل النشا ولكن لكل من هذين الإنزيمين اسلوبه الخاص في العمل
- **فإنزيم ألفا أميليز** يهاجم الرابطة ألفا (٤,١) عند كلا الطرفين أو في وسط الجزيء ، واذا هاجم سلسلة متفرعة فإن الإنزيم يحلل جميع الروابط الجليكوسيدية ألفا (٤,١) حتى الثلاث وحدات الجلكوز الخاصة بالرابطة الجليكوسيدية (٦،١) أي نقطة التفرع وهي مثلث من ثلاث وحدات جلكوز

إنزيم ألفا أميليز وإنزيم بيتا أميليز

- **أما إنزيم بيتا أميليز** وهو يوجد بكثرة في البذور وأمكن عزله من العديد من النباتات ويبدأ عمله التحليلي من الطرف الغير مختزل لجزيء الأميلوز ويزيل من هذا الطرف بالتتابع وحدات من المالتوز حتى يتم التحليل الكامل لجزيء الأميلوز إلى سكر المالتوزوإذا حدث أن كان الجزيء الذي يحلله الإنزيم جزيء متفرع (اميلوبكتين) فإن الإنزيم يبدأ عمله من النهاية أو الطرف الغير مختزل لكل فرع من تفرعات الجزيء وبذلك يزيل هذا الإنزيم وحدات من سكر المالتوز واحداً تلو الآخر من الطرف الغير مختزل.



إنزيم ألفا أميليز وإنزيم بيتا أميليز



- وهدم سلاسل (الاميلوز) بواسطة هذين الإنزيمين يكون كاملاً تقريباً أما هدم (الأميلوبكتين) المتفرع يكون حوالي النصف (بمعنى أن بعض أجزاء السلاسل يتم هدمها إلى مالتوز والبعض الآخر لا يتم هدمها) وذلك لأن ألجسور الواصلة بين الأفرع صعبة الهدم وتعد تفاعلات هذين الإنزيمين غير عكسية لاستحالة تكوين النشا بهذه الطريقة

إنزيم ألفا أميليز وإنزيم بيتا أميليز

- وكما ذكرنا سابقاً أن إنزيم (بيتا أميليز) يوجد في البذور فإن إنزيم (ألفا أميليز) يتكون اثناء عملية الإنبات وأول من اكتشف إنزيم (Amylase) هما الباحثان (Person and Payen (١٨٣٣) وأطلقا عليه إسم (دياستيز)
-

إنزيم فوسفوريليز النشا Starch phosphorylase

- هذا الإنزيم يهدم النشا الموجود في صورة الأميلوز بوجود (حمض الفوسفوريك) وتسمى هذه العملية (Phosphoralysis) بعكس إنزيم (Amylase) الذي يتطلب عمله الماء ، أما (الأميلوبكتين) فيهدم بهذا التفاعل جزئياً وإنزيم (فوسفوريليزالنشا) موجود في النباتات خاصة درنات البطاطس وفي الأوراق يعتقد بوجود الإنزيم في الكلوروبلاست وكذلك في كلوربلاست الخلايا الحارسة وبهذا قد يكون للإنزيم دور مهم في فتح وغلق الثغور وقد وجد أن التفاعل الحادث بمساعدة الإنزيم (Starchphosphorylase) تفاعل عكسي أي يقوم بتكوين النشا ولكن التجارب الحديثة أظهرت أن تفاعلات تكوين النشا تختلف عن تفاعلات هدمه .

) الإنزيم - ر R – enzyme

- ويظن بأن هذا الإنزيم يستطيع تحليل النشا الموجود على هيئة سلاسل متفرعة (الاميلوبكتين) تحليلاً كاملاً.

Cellulose Degradation ***تحلل السليلوز***

- ليست هناك حاجة للقول – أن تحلل السليلوز يشكل أحد الملامح الأساسيه للبيئه في هذا العالم – وإذا كان تحليل السليلوز غير ممكن – فإن البيئه سوف تمتلىء بالنباتات الميتة ولقد امدنا الله سبحانه وتعالى بأنواع مختلفة من الكائنات الحية والتى لها المقدرة على تحليل السليلوز وأهمها أنواع معينة من البكتريا والفطر وتبعاً للدلائل المتاحة فإن التحليل الإنزيمي للسليلوز يتم عشوائياً على الرابطة الجلكيوسيدية بيتا (٤،١) ويحدث التحلل المائي للسليلوز بعدة إنزيمات كما في التالي:.
-

$$\text{Cellulose} \xrightarrow{\text{Cellulase}} \text{Cellodextrines} \xrightarrow{\text{Cellulase}} \text{Cellobiose} \xrightarrow{\text{Cellobiase}} \text{glucose}$$

العمليات الحيوية المتعلقه بالأحماض الأمينية والبروتينات

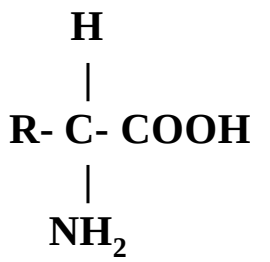
البروتينات هي أهم مكونات برتوبلازم الخلايا وتتكون من جزيئات ذات أوزان جزيئية عالية ومختلفة تتراوح بين ١٣٠٠ إلى عدة ملايين وأول دراسة أجريت على تكوين البروتين ترجع إلى سنة (١٨٣٠م) وتكمن اهمية البروتينات في أن العديد منها ذو نشاط وظيفي كالإنزيمات ، والإنزيمات ذات اهمية حيوية لمعدل سرعة التفاعلات الكيمو حيوية ، وللبروتينات وظيفتان هامتان اخريتان ،

حيث تعمل كأيون هيدروجين منظم

وكمكونات تركيبية للخلايا .

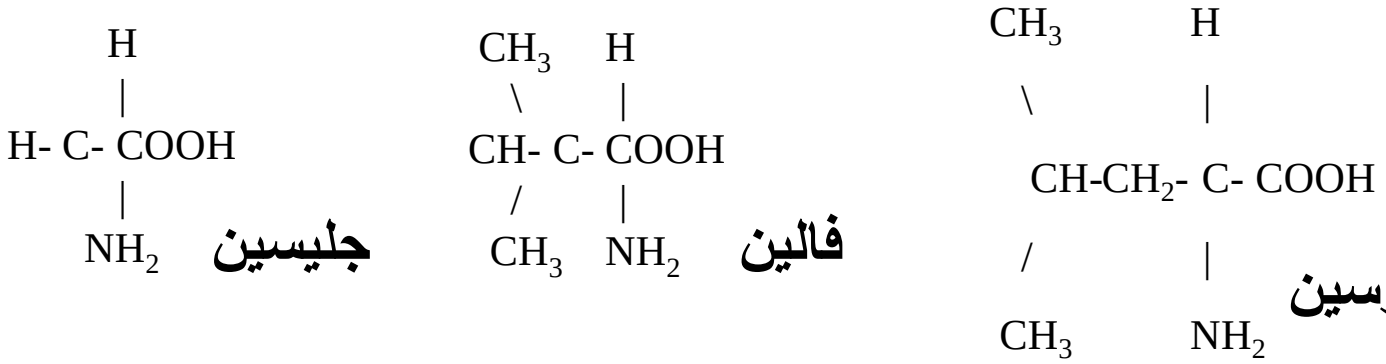
الأحماض الامينية

يوضح التحليل المائي بواسطة الأحماض لجزيء البروتين انه يتركب من وحدات صغيرة متكررة هي الأحماض الأمينية والتركيب العام للأحماض الأمينية هو



يصور هذا البناء الحامض الأميني الأول والذي فيه مجموعة الأمين (Amino group) (NH_2) ترتبط مع ذرة الكربون ألفا المجاورة لمجموعة كربوكسيل (COOH)

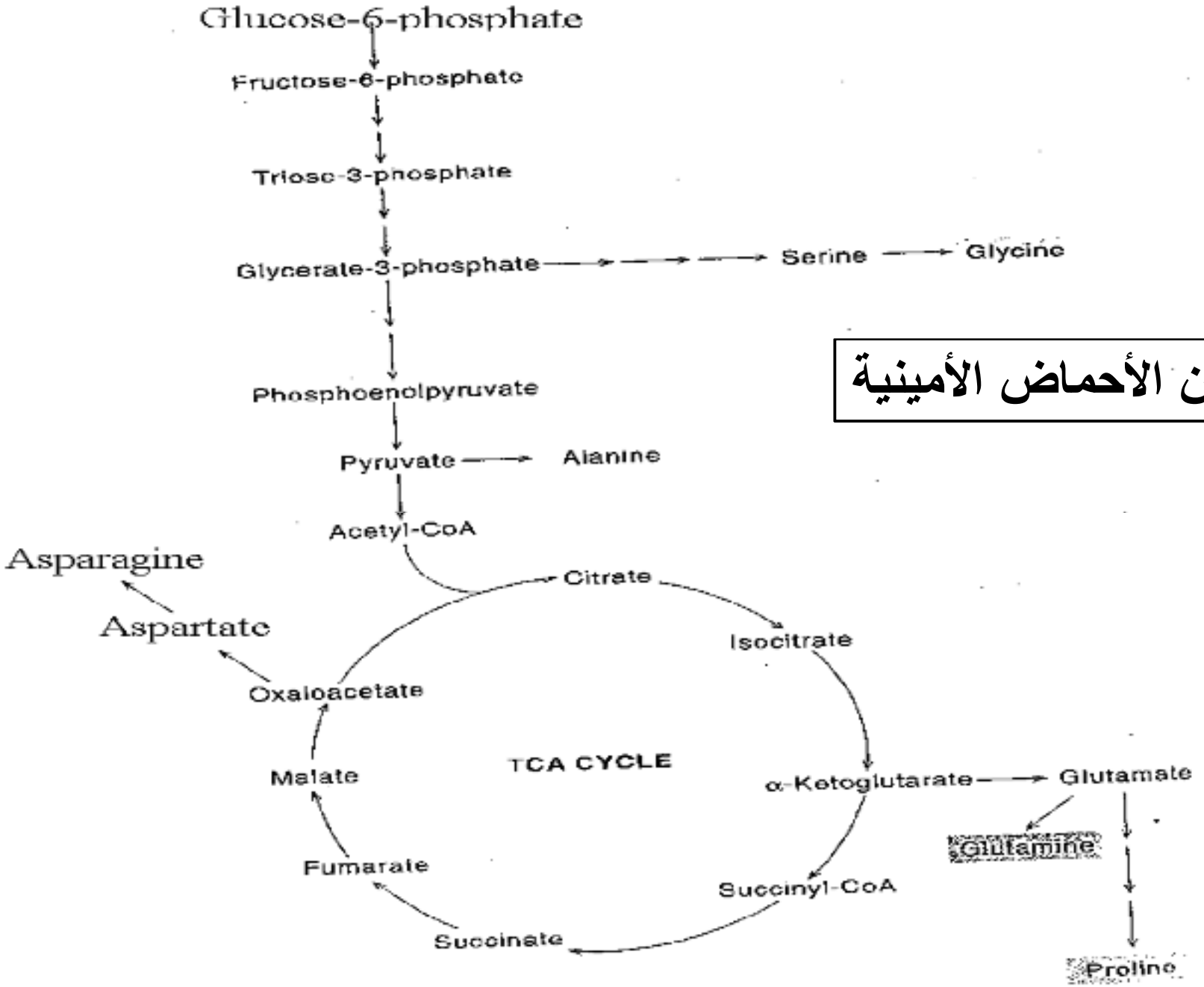
والإختلافات الفردية بين الأحماض الأمينية الأولية توجد في مجموعة (R) والتى قد تختلف كليَة من حامض أميني لآخر مثال ذلك :



الأحماض الأمينية الموجودة في بروتين النبات

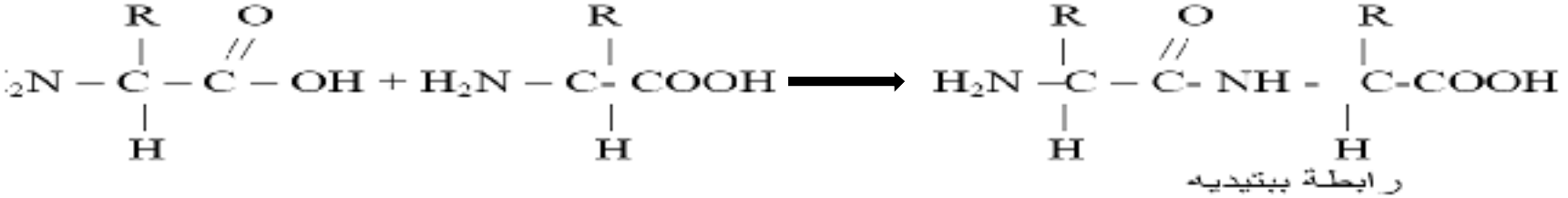
- الأحماض الأمينية الموجودة في بروتين النبات هي الجليسين ، والألانين ، الفالين ، ليوسين ، ايزوليوسين ، سيرين ، وثريونين ، فنيل آلانين ، تيروزين، تربتوفان ، سستايين ، مثيونين ، برولين ، هيدروكسي برولين ، حامض الإسبرتك ، حامض الجلوتاميك، هستيدين ، ارجنين ، وليسين .
- وعدد الأحماض الأمينية الداخلة في تركيب البروتين عشرون حامضاً أمينياً هذا ويعتقد بوجود ٢٠٠ حامض أميني لا تدخل في تركيب البروتينات وتكون بعض النباتات الراقية غنية بمثل هذه الأحماض الأمينية على الرغم من قلة إنتشارها.

تكوين الأحماض الأمينية



أوآصر الببتيد Peptide Bonds

البروتينات تتكون بإتحاد الأحماض الأمينية بعضها ببعض من تفاعل مجموعة الكربوكسيل من حامض أميني مع مجموعة الأمين في الحامض الأميني الآخر وتنشأ رابطة تعرف بالرابطة الببتيدية مع عزل جزيئية ماء.



بناء وهدم الأحماض الأمينية

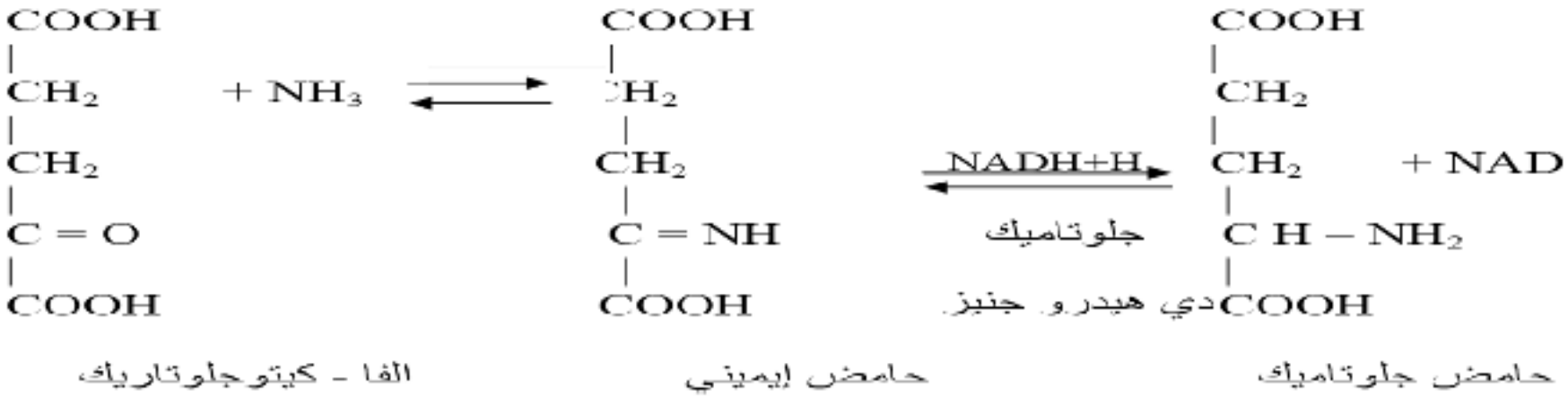
اولاَ: بناء الأحماض الأمينية

تستطيع النباتات أن تبني جميع الأحماض الأمينية من مواد غير عضوية . وتشتمل تفاعلات بناء الأحماض الأمينية على عدة خطوات.

الخطوة الأولى: تكوين أحماض ألفا كيتية مقابلة من حيث تركيبها للأحماض الأمينية مثل (ألفا كيتو جلوتاريك ، بيروفيك واكسالوخليك) وتنتج هذه الأحماض الكيتية عن طريق المسار الجليكولي ودورة كربس.

الخطوة الثانية:. إنتاج الأمونيا التي لا تلبث أن تتفاعل مع ألفا كيتو جلوتاريك لتكوين حمض الجلوتاميك ، وتنتج الأمونيا عن طريق إمتصاص جذور النباتات الأمونيوم أو أيونات النترات من التربة بسهولة . ثم تختزل النترات الممتصة إلى أمونيا بمساعدة بعض الإنزيمات في أنسجة النباتات قبل تكوين المجموعات الأمينية .

التفاعل بين الأمونيا مع الألفاكيتوجلوتاريك كالتالي:

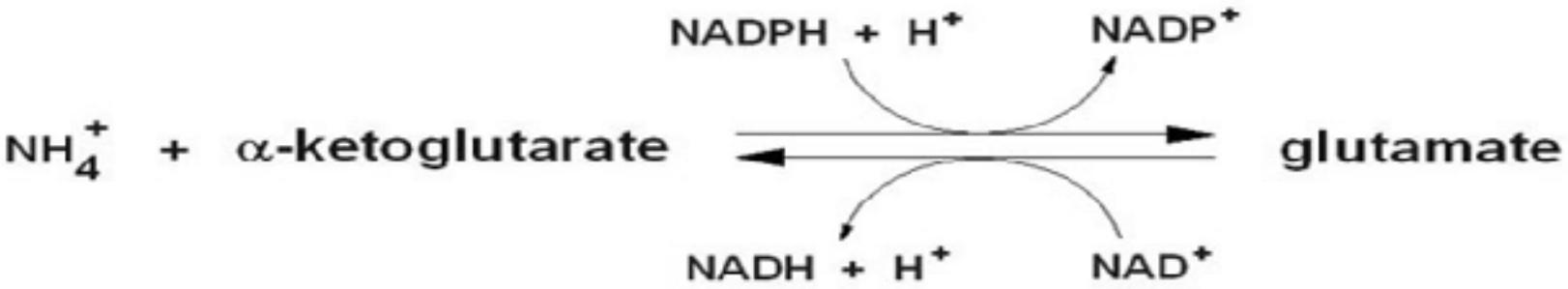


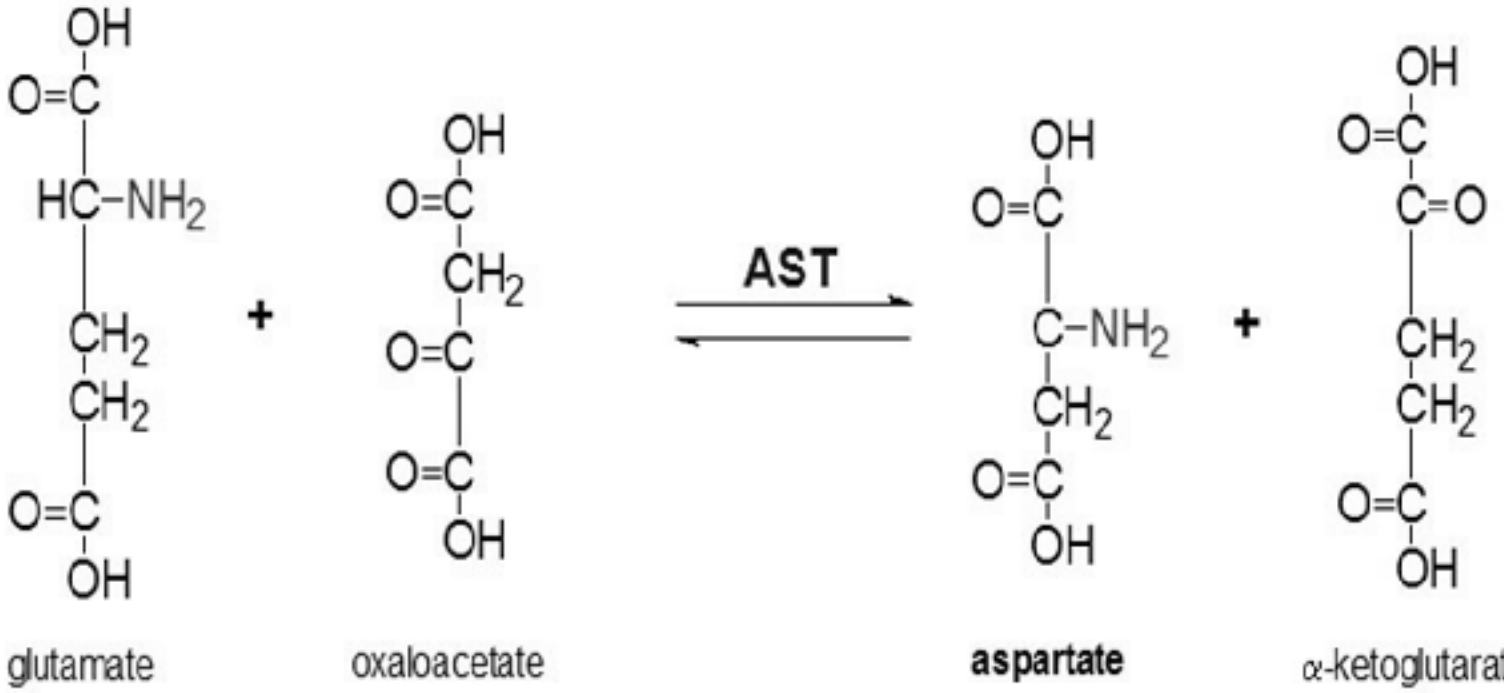
ومن المحتمل أن التفاعل الأول يحدث تلقائياً ، لكن التفاعل الثاني يحفز بواسطة إنزيم (جلوتاميك ديهيدروجنيز) ويحتاج إلى وجود نيكوتين أميد أدنين ثنائي النيوكليوتيد المختزل (ANDH + H)

الخطوة الثالثه: تنتقل المجموعة الأمينية من حامض الجلوتاميك إلى أحد الأحماض الكيتية والتى تتحول بدورها إلى أحماض أمينية وتسمى هذه العملية نقل مجموعة الأمين ويحفزها إنزيمات تسمى بالإنزيمات الناقلة لمجموعة الأمين (Transaminases)

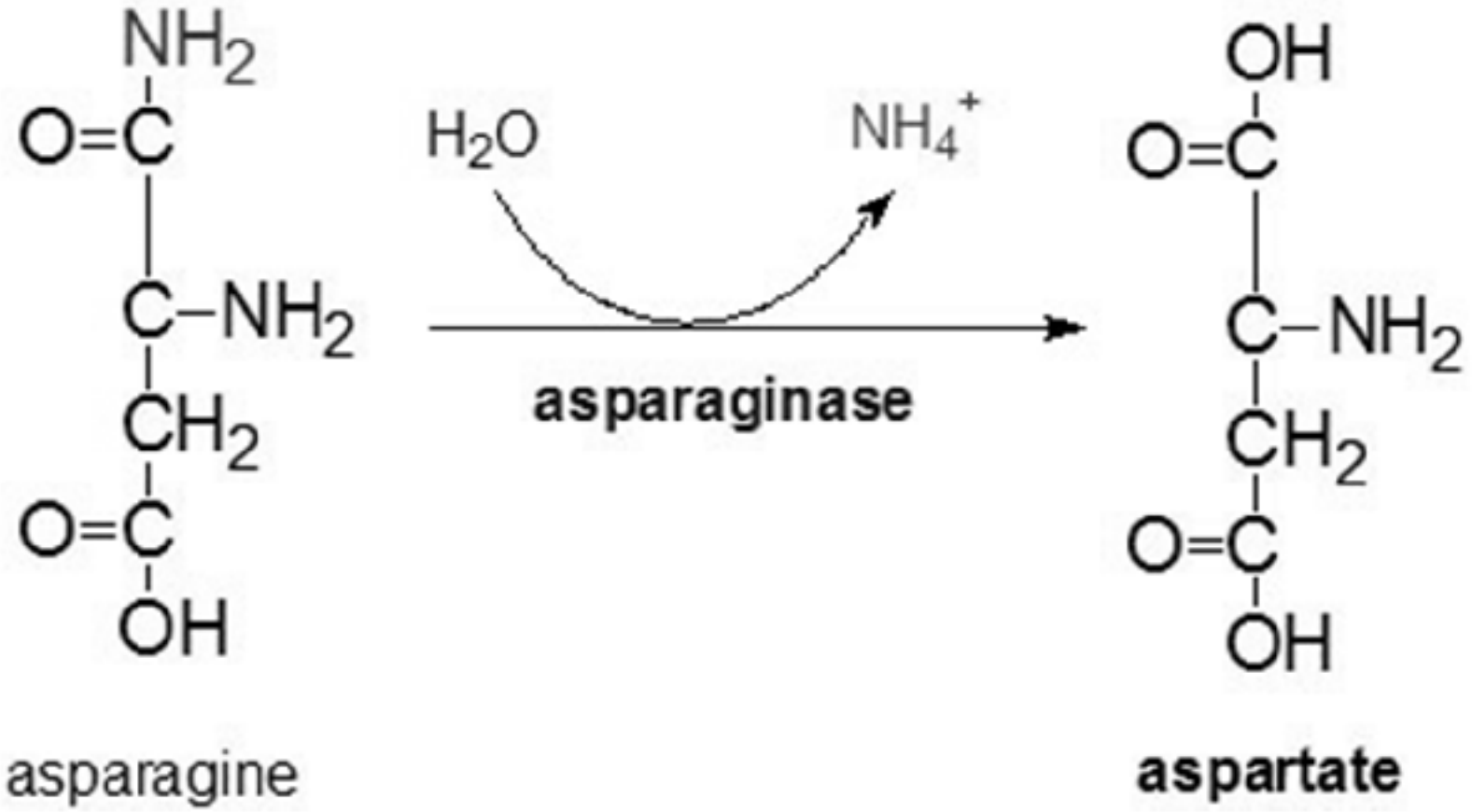
أن تفاعلات النقل الأميني تتضمن إشتراك فوسفات البيرودكسال (Pyridoxalphosphate) كمرافق انزيمي . ويظهر أن (فوسفات البيرودكسال) ترتبط بإحكام مع الإنزيم وتكتسب مجموعة أمين من الحمض الأميني ليتكون (فوسفات بيرودكسال أمين) وبالتالي تطلق الحمض الكيتوني المقابل ، ثم يمرر (فوسفات البيرودكسال أمين) مجموعة الأمين إلى حمض كيتوني آخر ليتكون حمض أميني جديد وينفرد (فوسفات البيرودكسال) مرة أخرى .

بناء الأحماض الأمينية

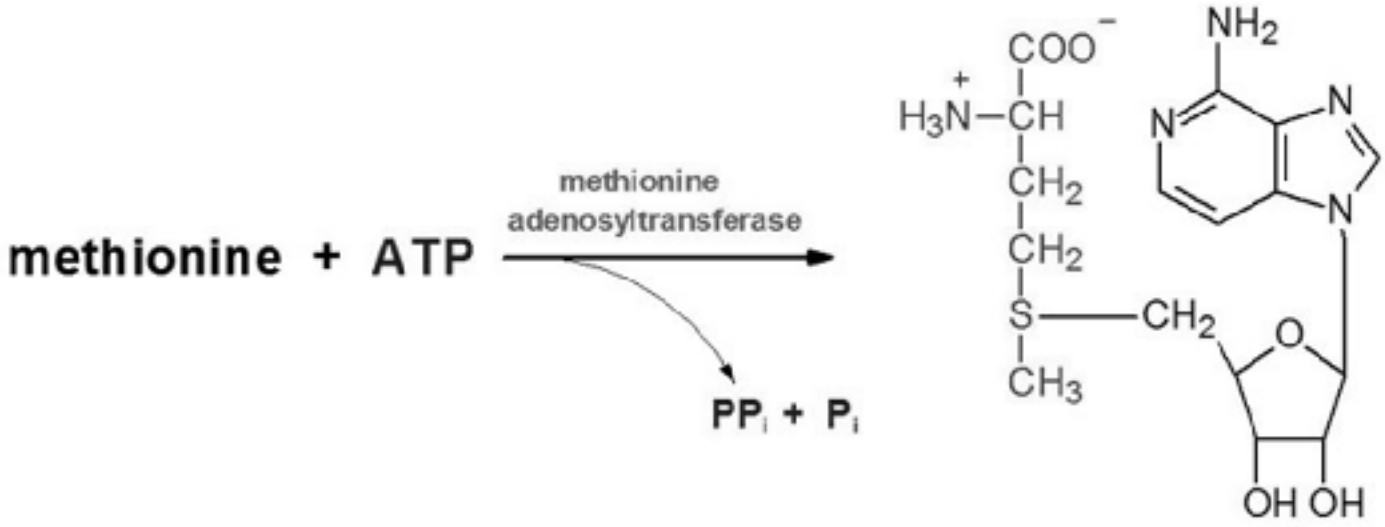




بناء الأحماض الأمينية



بناء الأحماض الأمينية

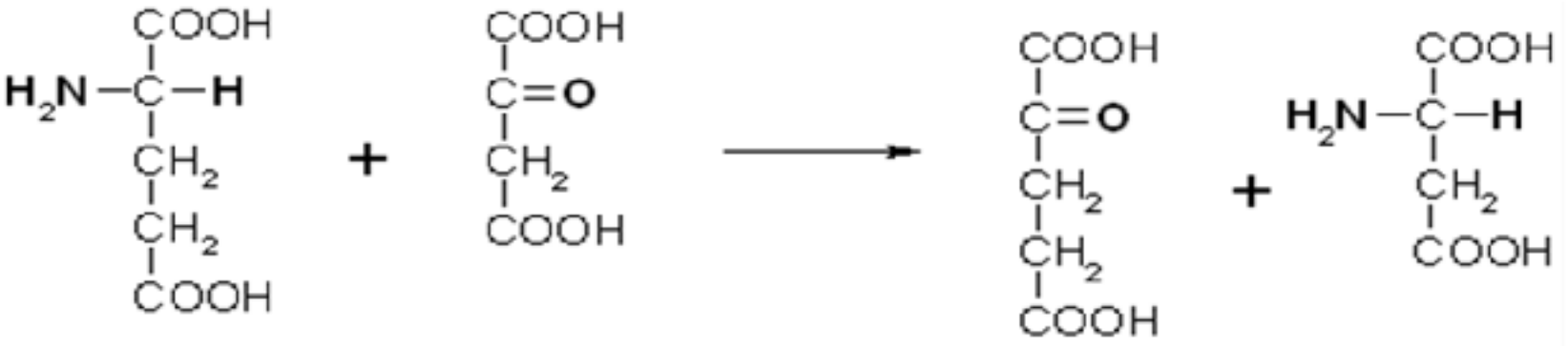


Cysteine Biosynthesis

The sulfur for cysteine synthesis comes from the essential amino acid methionine. A condensation of ATP and methionine catalyzed by methionine adenosyltransferase yields **S-adenosylmethionine** (SAM or AdoMet.(

أمثلة على تكوين بعض الأحماض الأمينية

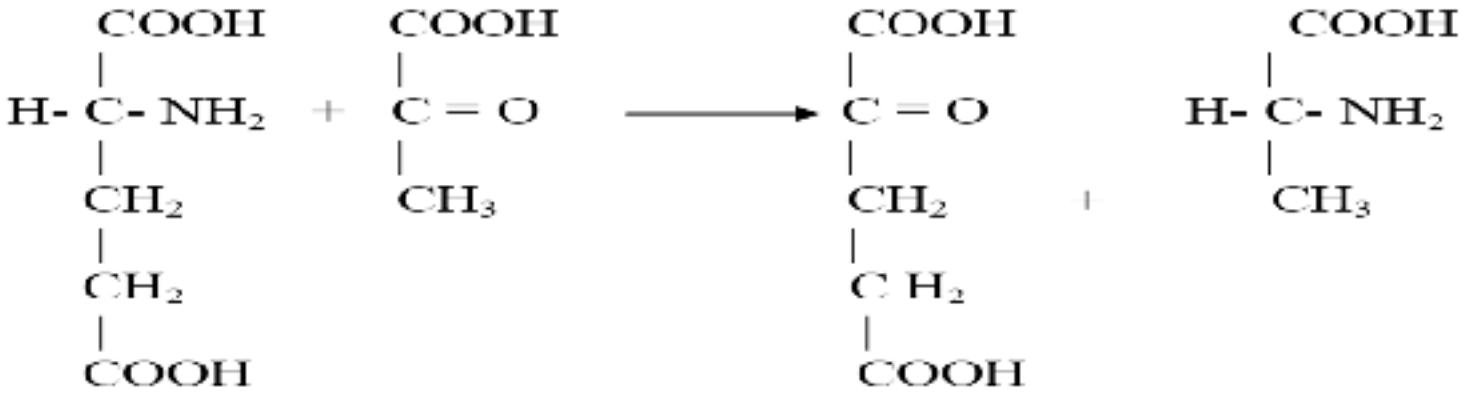
- **- تكوين حامض الأسبرتيك** Aspartic acid
- يحدث تفاعل نقل مجموعة الأمين بين الحمض الأميني جلوتاميك والحمض الكيتي أكسالوخلات ليتكون حمض الأسبرتيك والإنزيم الذي ينقل مجموعة الامين في هذه الحالة يسمى (جلوتاميك – أسبرتك ترانس أمينيز)



جلوتاميك أكسالوخلات الفاكيتوجلوتاريك حمض الاسبرتيك

أمثلة على تكوين بعض الأحماض الأمينية

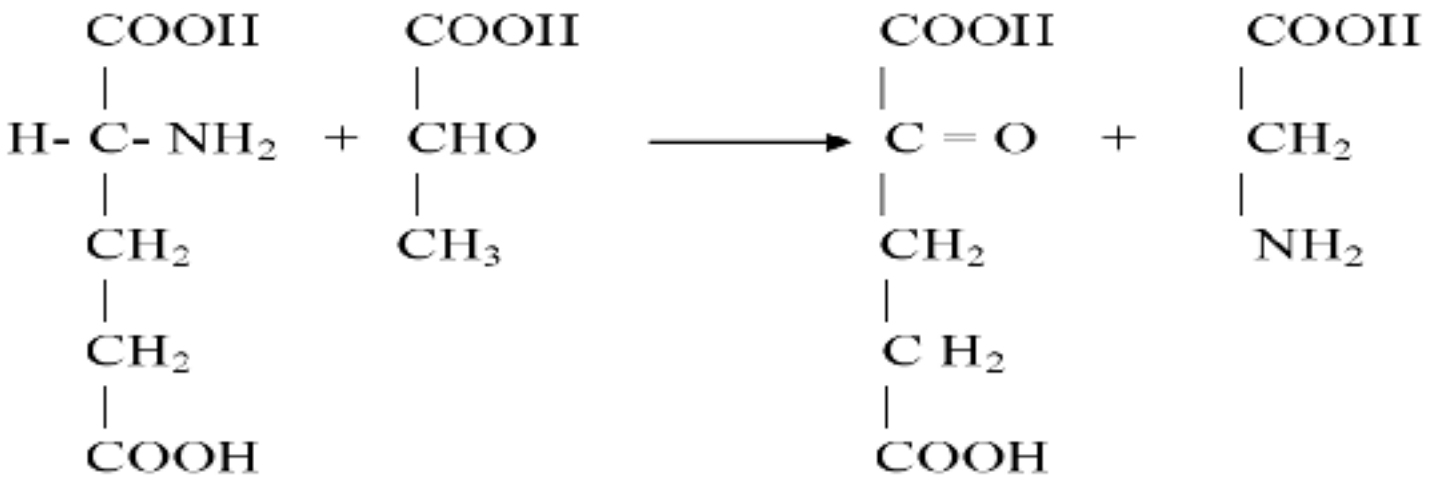
- **٢- تكوين حامض الألانين** Alanine
- في هذا التفاعل يحدث نقل مجموعة الأمين بين الحمض الأميني جلوتاميك والحمض الكيتي البيروفيك والإنزيم الذي ينقل مجموعة الأمين في هذه الحالة يسمى (جلوتاميك – بيروفيك ترانس أمينيز)
-



جلوتاميك حامض بيروفيك الفا - كيتوجلوتاريك الآلانين

أمثلة على تكوين بعض الأحماض الأمينية

- **٣- تكوين حامض الجليسين**



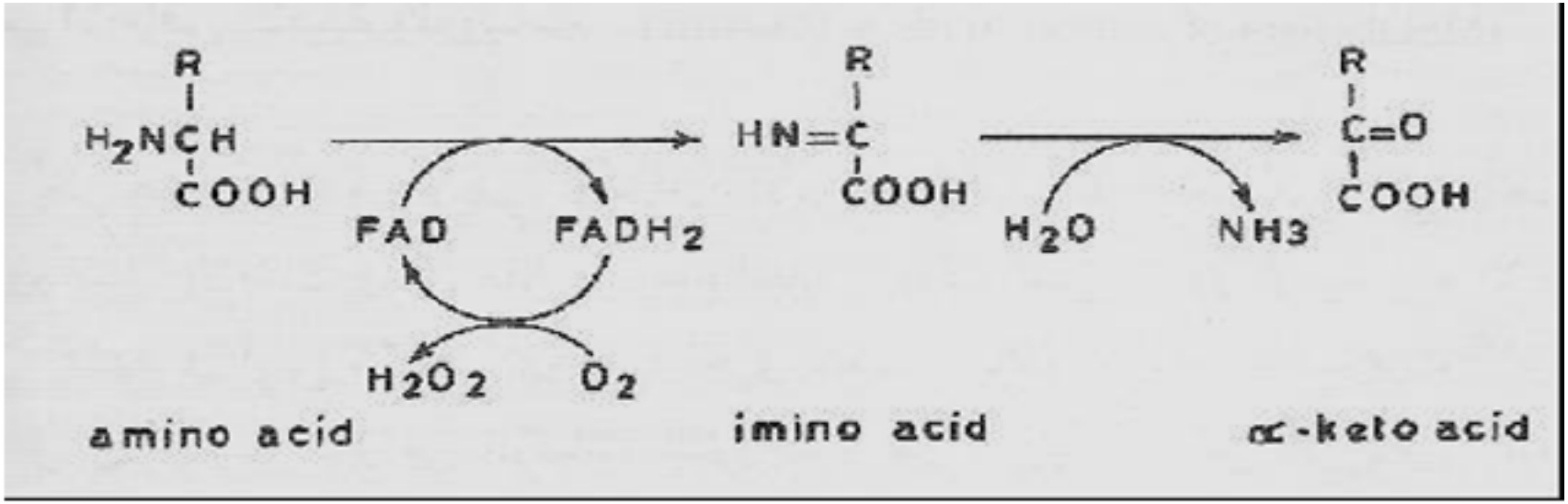
جلوتاميك جليوكسليت الفا - كيتوجلوتاريك جليسين

ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

الخطوة الرئيسية الأولى في هدم الحامض الأميني هو تجريده من مجموعته الأمينية التى تنطلق في صورة أمونيا وأكسدة هيكله الكربوني في الوقت نفسه إلى حمض ألفا-كيتي ثم تدخل هذه الأحماض المسارات الأيضية العامة فبعض هذه المركبات مثل البيروفيك وكيتوجلوتاريك وأكسالوخليك تتأكسد أكسدة كاملة عن طريق دورة كربس ، وبعض المركبات الكيتية الأخرى تتحول الى مركبات اخرى يمكن ان تدخل الأيض الكربوهيدراتي أو الدهني وعندئذ إما أن تتأكسد أكسدة تامة مسفرة عن إنتاج طاقة ، وإما أن تستخدم تحت ظروف ملائمة لأغراض تخليقية آخرى.

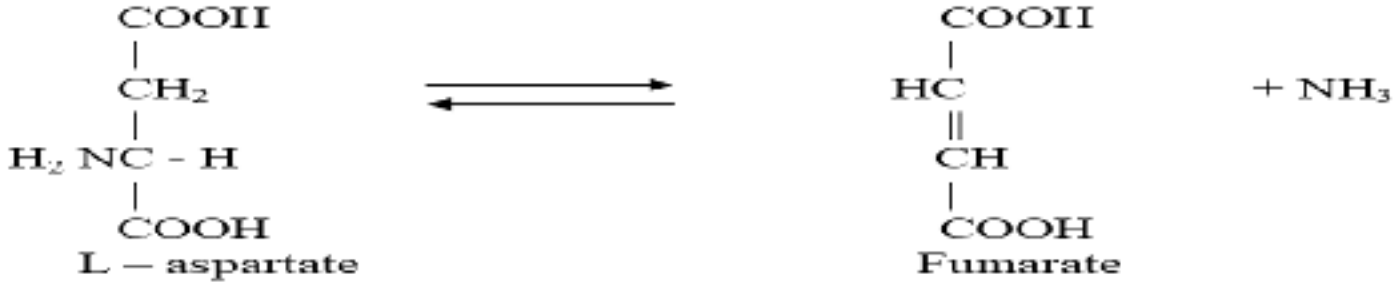
ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

- **وتختلف آليه تجريد الحمض الأميني من مجموعته الأمينية في المتعضيات المختلفة**
- **ففي المتعضيات الدنيا** تتحقق هذه الخطوة بإنزيمات(اكسيديزات الأحماض الأمينية) وتحفز هذه الإنزيمات أكسدة الحمض الأميني عن طريق نزع الهيدروجين من المجموعة الأمينية ومن كربون ألفا وتحويله الى حمض إيميني (imino acid) لا يلبث أن يتفاعل تلقائياً مع الماء مطلقاً أمونيا ومكوناً حمضاً كيتياً.



ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

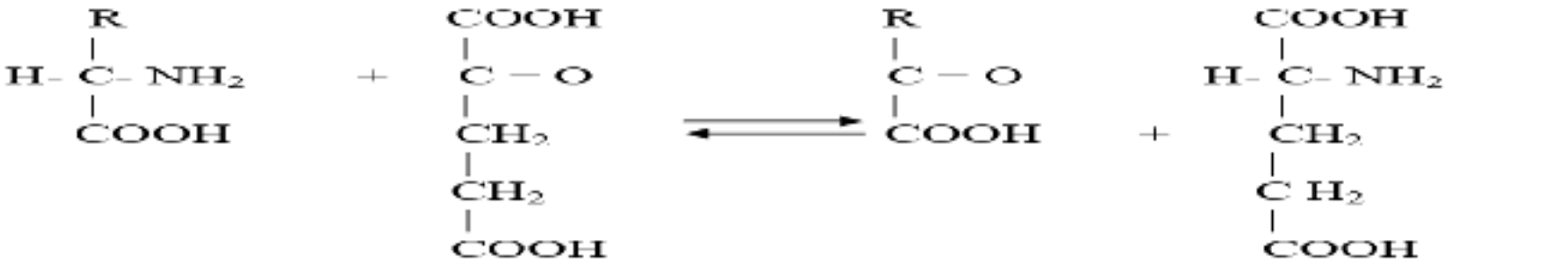
من جهة اخرى: يوجد في بعض المتعضيات الدقيقة والنباتات ، إنزيمات تحفز تجريد الأحماض الأمينية من مجموعاتها مثل إنزيم (Aspartate ammonia Lyase) الذي يحفز فصم الأمونيا من جزيء أسبارتك



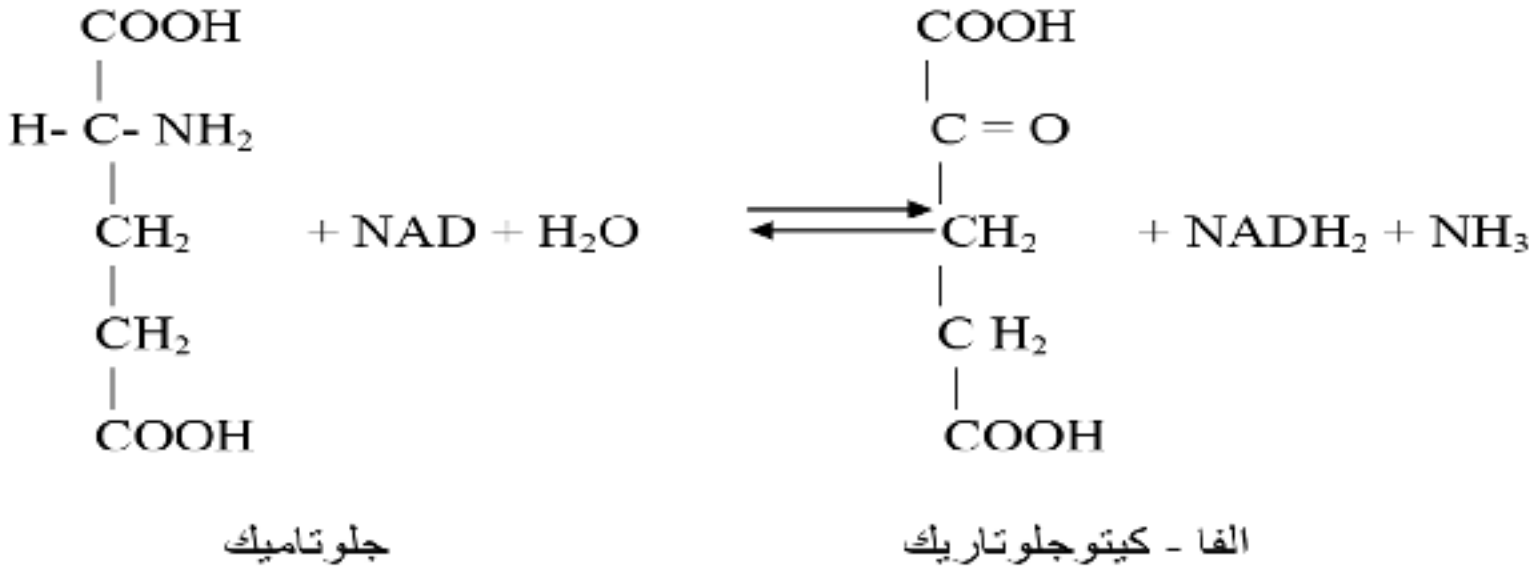
والجدير بالذكر أن هذا التفاعل قابل للإنعكاس بسهولة

أما الإنزيم الذي يقوم بدور اساسي في تجريد الأحماض الأمينية من مجموعاتها الأمينية في الأنسجة الحيوانية والنباتية فهو (جلوتاميك ديهيدروجينيز) (glutamic dehydrogenase) بالتعاون مع إنزيمات أخرى تسمى (ناقلات أمينية) . ففي هذه التفاعلات تنتقل مجموعة الأمين عن طريق المرافق الانزيمي (فوسفات بيرودكسال) ، نحو حامض ألفا كيتو جلوتاريك مكونة حامض الجلوتاميك

ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

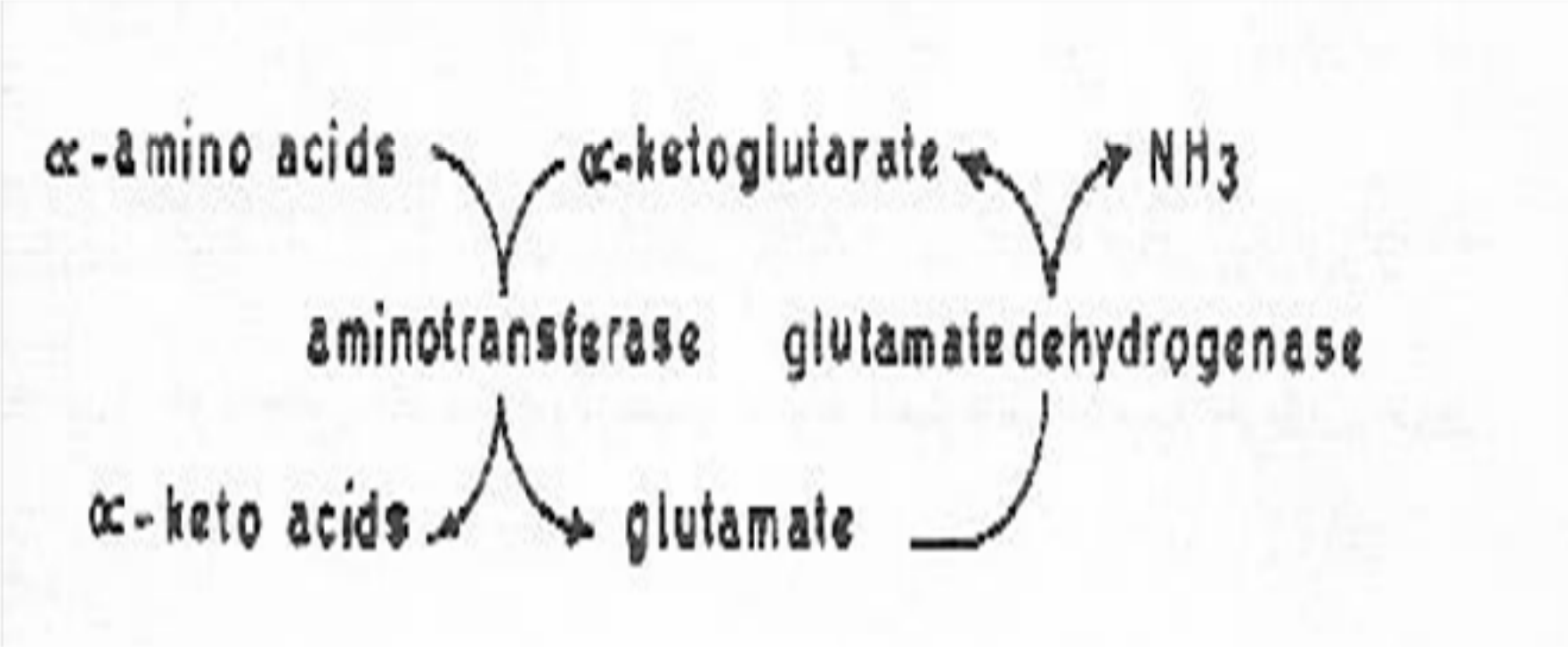


وفي وجود إنزيم (جلوتاميك ديهيدروجنيز) تنطلق الأمونيا من حمض جلوتاميك ويتكون ألفا كيتو جلوتاريك، ليدخل من جديد في مثال التفاعل السابق.



ثانياً: هدم الأحماض الأمينية

ويمكن ايضاح العملية الشاملة لتجريد أحماض أمينية متنوعة من مجموعاتها الأمينية بتعاون إنزيمات النقل الإنزيمي وجلوتاميك ديهيدروجنيز معاً على النحو التالي:.



تكوين البروتينات

لأجل تكوين البروتينات تحدث الخطوات التالية على التعاقب وأهمها :

اولاً: عملية التضاعف (DNA Replication) حيث تتضاعف كميه DNA

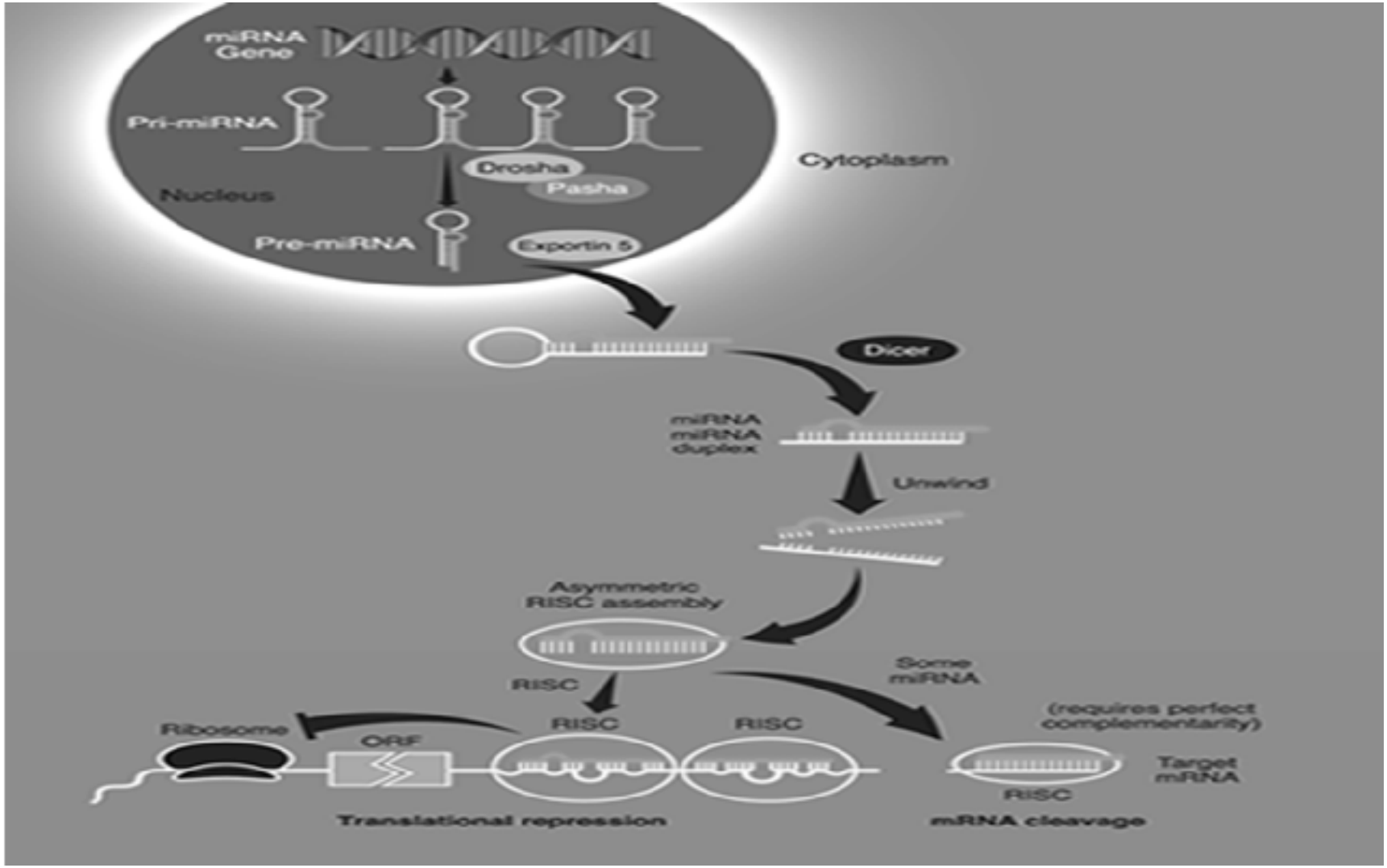
ثم تليها عملية النسخ (Transcription) حيث تتكون أنواع الـ RNA

ثم عمليه التحام الـ m – RNA على الريبوسومات وتكوين الـ (m – RNA Ribosomes complex)

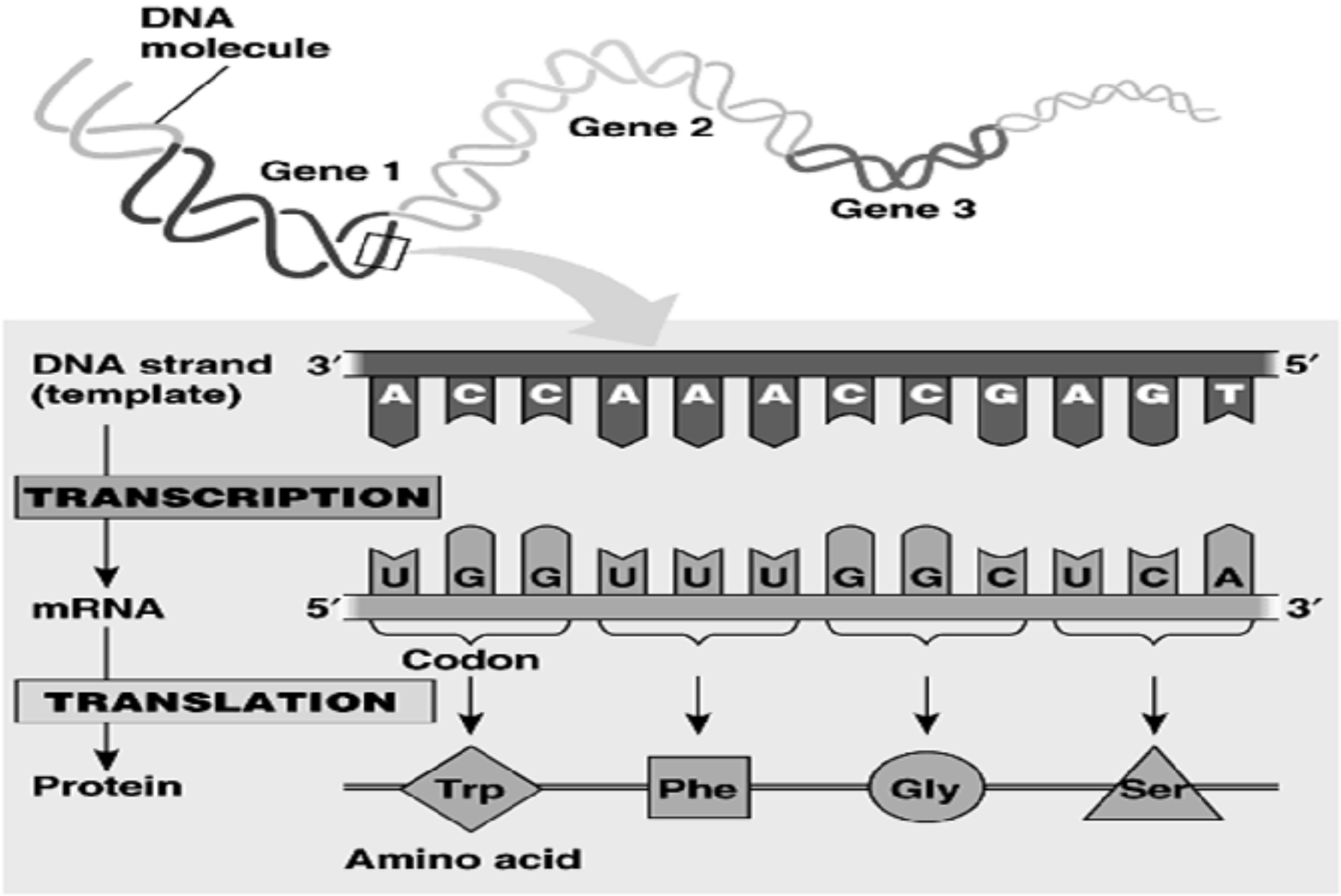
واخيراً تحدث عملية الترجمة (Translation) المتعلقة بتكوين البروتينات .

ويذكر انه يمكن تكوين العديد من انواع البروتينات من عشرين حامضاً أمينياً فقط كما يحتمل أن معظم الخلايا تكون الألآف من أنواع البروتينات خلال حياتها.

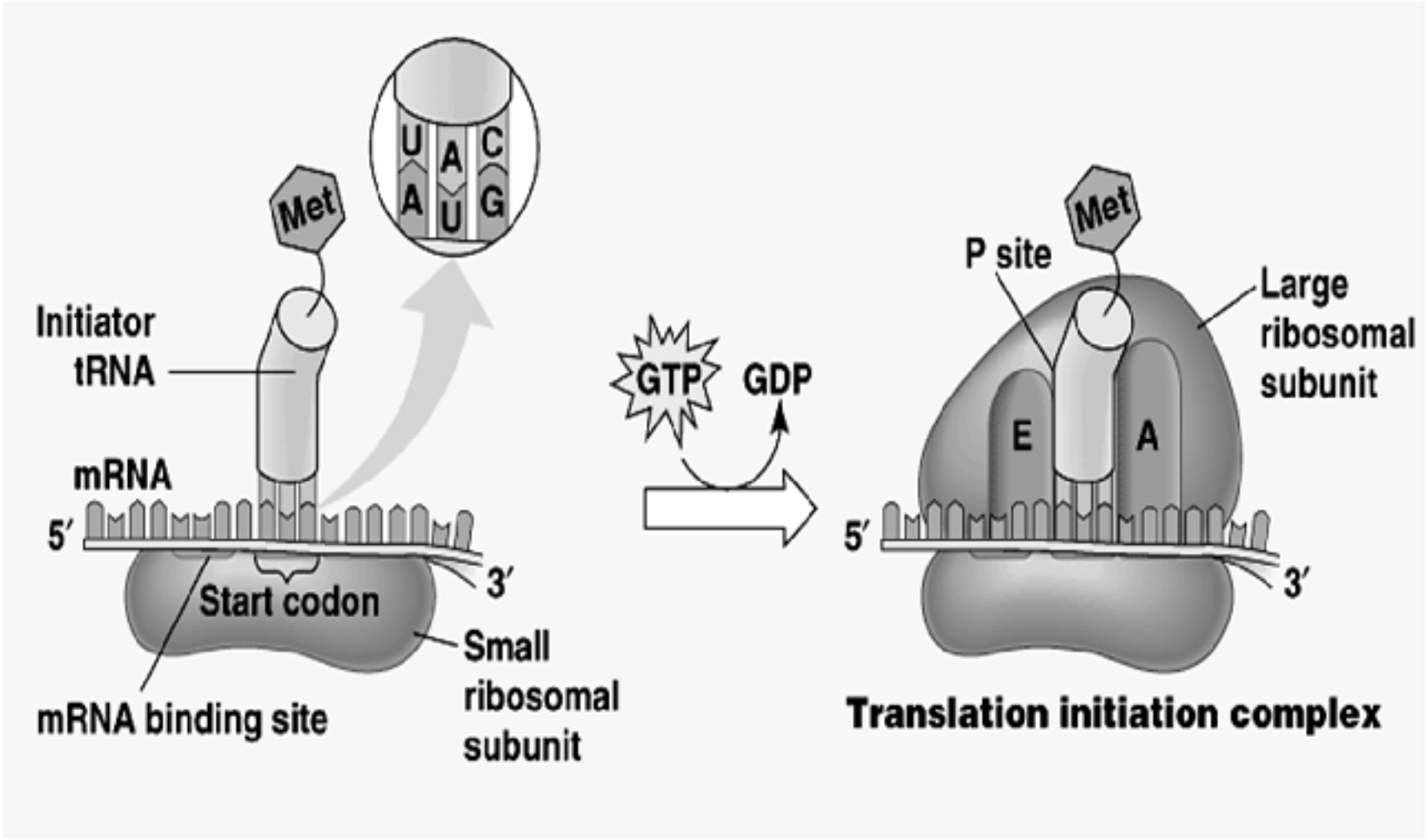
تكوين البروتينات



النسخ والترجمة

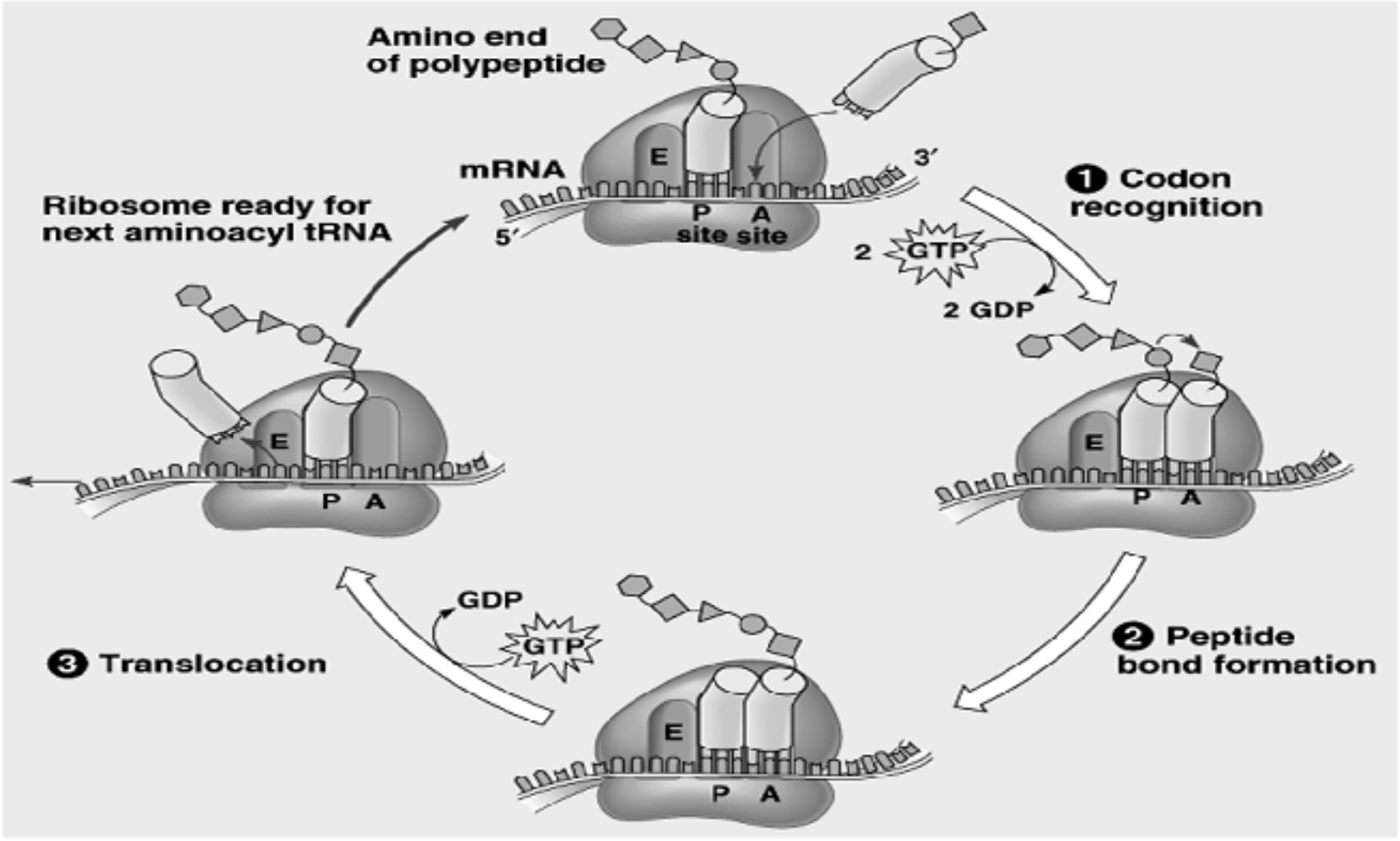


Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

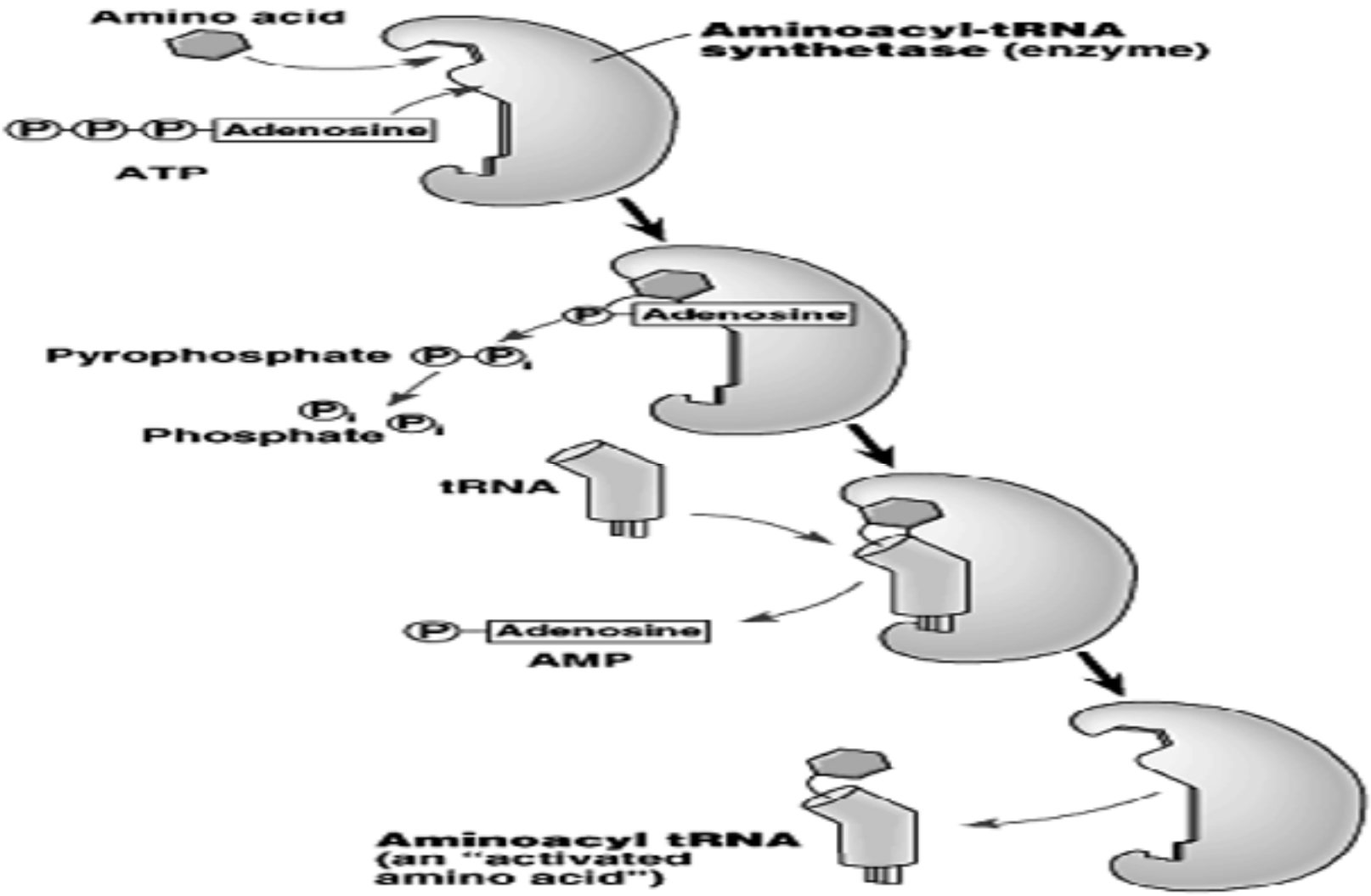
The ribosome moves onto the messenger RNA and begins translation of the mRNA codons from the start AUG codon



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

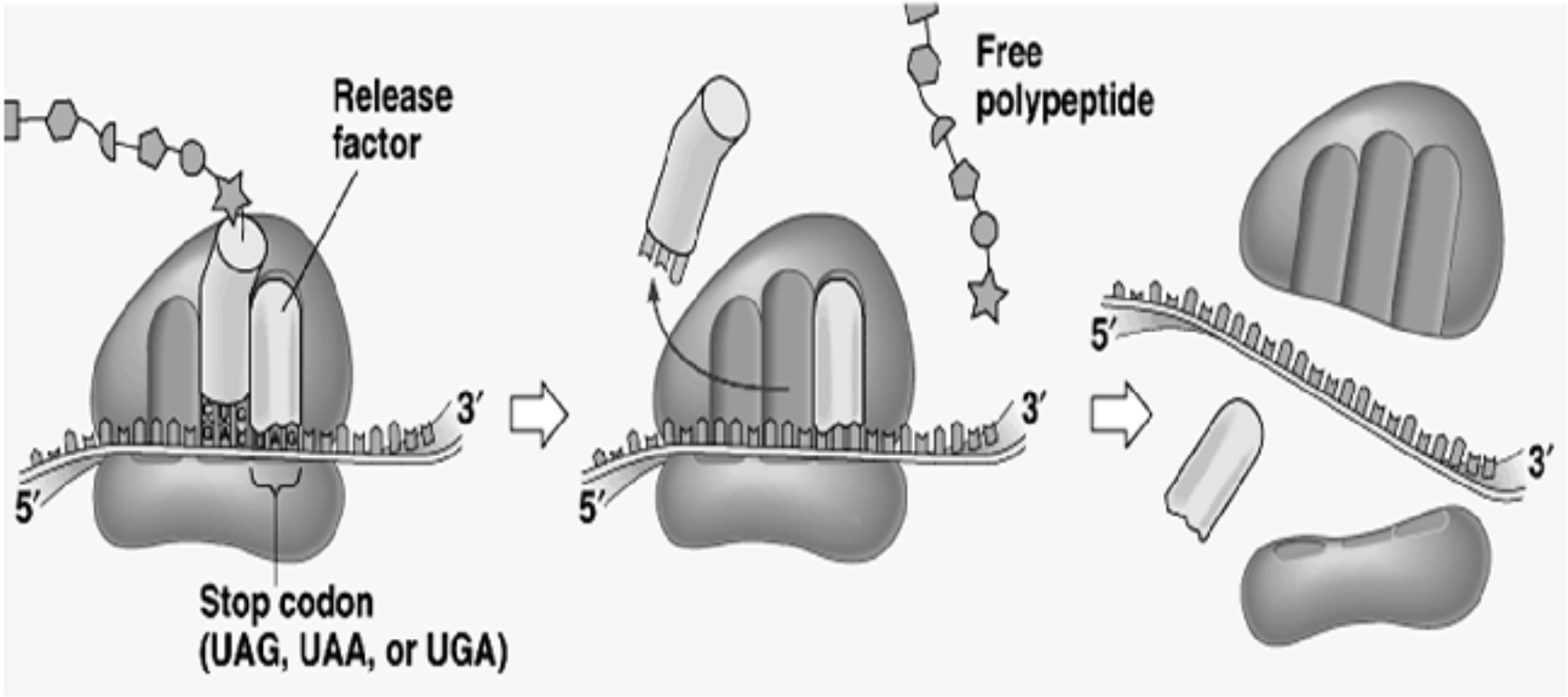
The ribosome provided a location for the complementary anticodon of the +RNA to base pair with the codon of the mRNA.

A transfer RNA molecule complete with its specific amino acid is referred to as a charged tRNA



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

تكوين البروتينات



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

تكوين البروتينات

وأن أنواع البروتينات التى تكونها الخلايا الحية تعتمد على كمية الـ DNA الموجودة في الخلايا وعلى ترتيب القواعد العضوية المكونة للأحماض النووية إن بحوث تكوين البروتينات هي متسعة جداً ومتشعبة بسبب اهميتها وتعقيداتها وأما مراحل تكوين البروتينات وعلاقتها بالأحماض النووية تشمل التالي:.

١ـ تنشيط الأحماض الأمينية

تنشط الأحماض الأمينية اولاً بفعل مركبات الطاقة ATP وبمساعدة الإنزيمات (amino acyl – TRNA Synthetase) المخصصة لكل حامض أميني وكذلك يتطلب التنشيط أيونات المغنسيوم والمنجنيز

$$\text{Amino acid} + \text{ATP} \longrightarrow \text{amino acid} - \text{AMP} - \text{enz}^{*}.+ \text{P-P}$$

٢- اشتراك الـ t-RNA مع المعقد السابق amino acid – AMP. enz.

بمساعدة نفس الإنزيمات والتفاعل يحدث كالاتي:

Amino acid–AMP–enz.+t-RNA ⟶ RNA amino acid + AMP

والرابطة التى تربط الحامض الأميني مع t- RMA هي بين مجموعة الكربوكسيل للحامض الأميني ومجموعة الهيدروركسيل للسكر (Ribose) الموجود في الـ RNA

٣- نقل الناتج (t- RNA amino acid) الى الريبوسومات الملتصقة على RNA لغرض تكوين الرابطة الببتيدية وفي هذه المرحلة تنقل المعلومات الوراثية (Trans lation) من الـ nucleotide code الى الـ amino acid code

٤- عمل الإنزيمات التى تسبب إرتباط الأحماض الأمينية مع بعضها البعض وتكوين الاواصر المسماة ببتيد بين مجموعة الكربوكسيل للحامض الأميني الأول ومجموعة الأمين للحامض الأميني الآخر.

٥- إنفصال جزئيات الـ t-RNA تدريجياً عندما تتكون الروابط الببتيدية وبذلك تتكون سلسلة مطولة من الأحماض الأمينية المرتبطة مع بعضها والتى تسمى بالتركيب الأولي للبروتين.

إن طول سلسلة البروتين تعتمد على طول الـ (m- RNA) والتى بدورها نشأت من جينات منفصلة.

هدم البروتينات

لقد رأى الباحثون بأن البروتينات تهدم وتصلح في الكائن ألحي ويمكن أن يحدث هدم البروتينات بتفاعلات تعاكس تفاعلات بنائها بيد أنه لوحظ أن بناء جزئيات البروتين الضخمة يحدث بتفاعلات حيوية معينة تختلف عن تفاعلات الهدم كما يحتمل أن يحدث الهدم بتفاعلات تحليلية تؤدي إلى تفكك الروابط الببتيدية بمساعدة إنزيمات المسماة (protase) التى تعمل على البروتينات الأصلية وكذلك إنزيمات (peptidase) التى تحلل روابط الببتيد .

بعض العمليات الحيوية المتعلقة بالدهون والأحماض الدهنية

تعريف الدهون

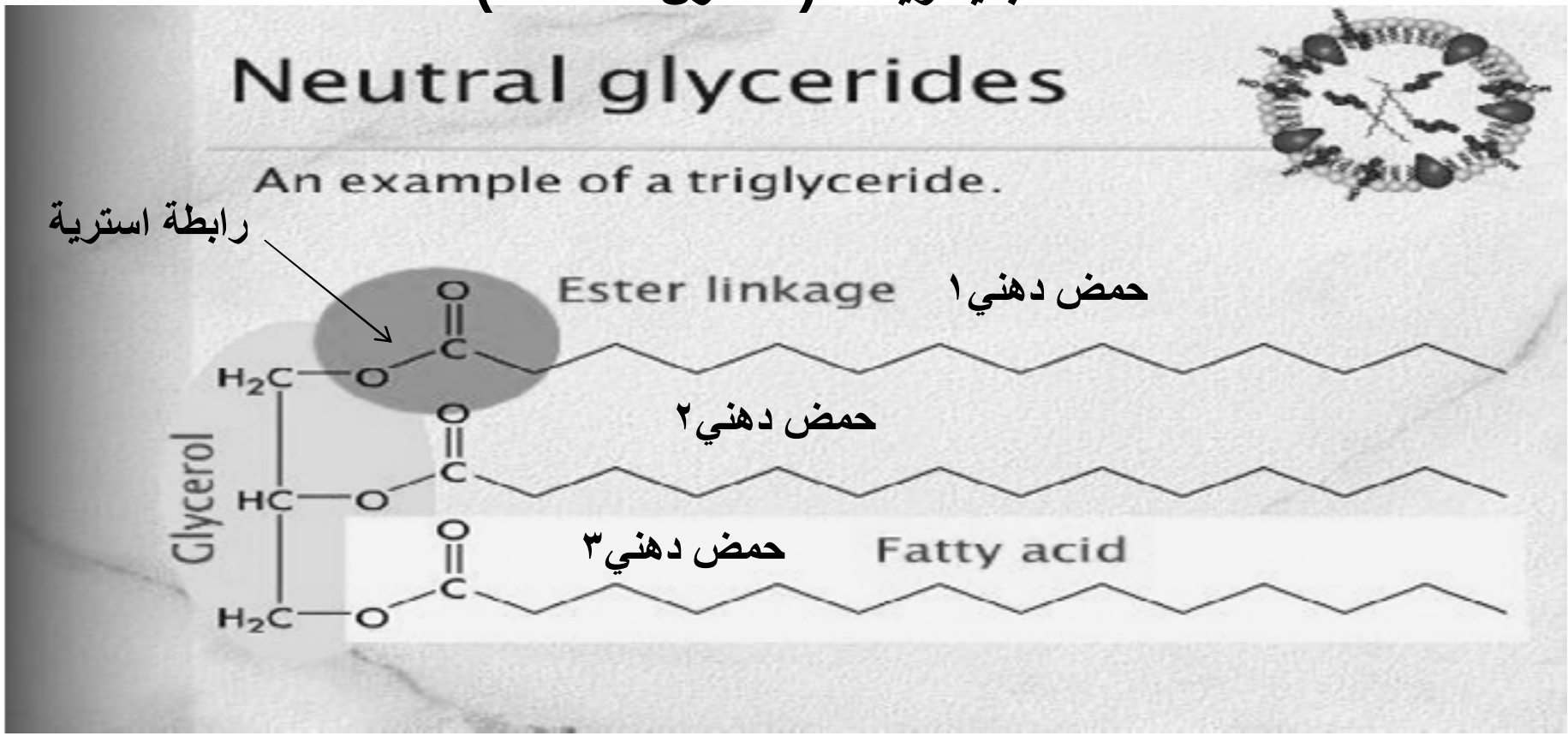
يمكن تعريف الدهون (الليبيدات) بأنها تلك المواد المستخلصة من الخلايا أو الأنسجة أو الأعضاء بواسطة الغليان المستمر (Refluxing) بإستخدام الإيثر البترولي أو الهكسان أو ثنائي إثيل الإيثر وقد تبين أن المواد الموجودة في المستخلص غير متجانسة كيميائياً فبعضها عبارة عن استرات تحتوي على كحول متحداً مع أحماض كربوكسيلية بينما يتكون يعضها الآخر من إسترات تحتوي على حامض الفوسفوريك والكربوكسيل في حين نجد أن بعضها لا ينتمي إلى الإسترات اطلاقاً وطبقاً للتركيب الكيميائي للمواد الدهنية يمكن تقسيمها إلى :

الدهون الحقيقة : وهي إسترات الأحماض الدهنية مع الجليسرول وتنتمي اليها الدهون والزيوت

الشموع : وهي استرات الأحماض الدهنية مع كحولات أخرى غير الجليسيرول.

الفوسفوليبيدات : وهي مواد دهنية معقدة التركيب تسمى غالباً فوسفاتيدات ، تتحد فيها مجموعات الدهون بمجموعات أخرى تحتوي على النيتروجين والفوسفور

الجليسريدات (الدهون المتعادلة)



وظائف الليبيدات

- من الناحيتين البيولوجية تؤدي الليبيدات عدداً من الوظائف المختلفة منها ما يكون اساساً على شكل مخزون وظيفته الأصلية العمل كمصادر للطاقة لعمليات البناء في الخلية . والليبيدات الأخرى هي التركيبية والتى تمثل جزءاً مكملاً لأغشيه الليبيدات البروتينية في حين يؤدي بعضها الآخرأدواراً وظيفية كتلك التى تعمل كهرمونات في الحيوانات وكصبغات التركيب الضوئي في النباتات .

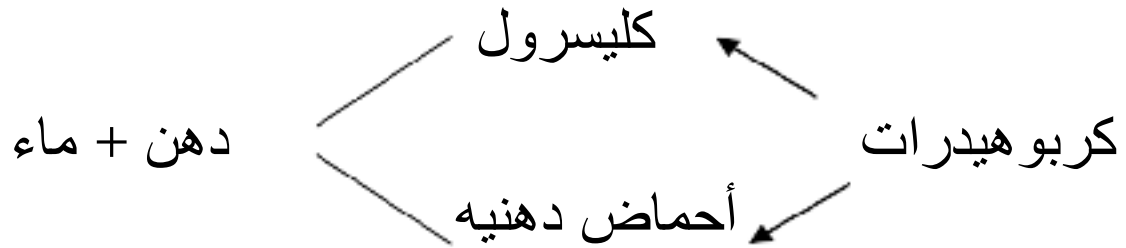
تكوين الدهون البسيطة (الحقيقية)

تكوين الدهون البسيطة يتضمن جملة (من التفاعلات الكيميائية) المرتبطة إرتباطاً كبيراً بعملية التنفس وهدم جزيء الكلكوز وعلى ذلك فإنه من السهل جداً على البرتوبلازم أن يقوم بتحويل المركبات الكربوهيدراتية إلى دهون وبالعكس وذلك عن طريق إنزيمات خاصة.

وحيث أن الدهون البسيطة هي كليسريدات لأحماض دهنية مع كليسرول لذا فإن بناء مثل هذه الدهون يتطلب بناء الكليسرول والأحماض الدهنية أولاً ثم يتكثف الدهن بتفاعل الإثنين معاً كما يلي :

علاقة عملية بناء الدهون بالمواد الكربوهيدراتية

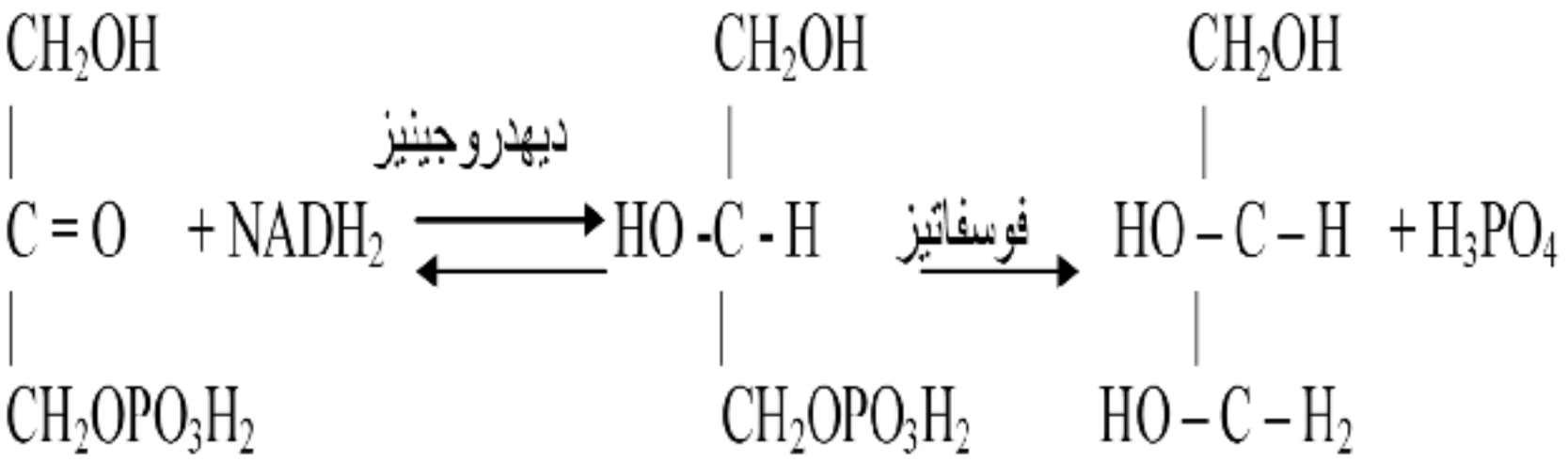
ومما يؤكد علاقة عملية بناء الدهون بالمواد الكربوهيدراتية أنه عند نضج البذور الزيتية فإن ذلك يتم بزيادة تركيز الزيت في البذور ويكون ذلك على حساب النقص في الماده الكربوهيدراتية وتبنى جزيئات الدهن في الكائنات الحية بتكاثف جزيء واحد من الكليسرول وهو (كحول ثلاثي الإيدروكسيل) مع ثلاثة جزيئات من نفس الحامض الدهنى كما هو الحال في البالمتين أو أحماض دهنية مختلفة



علاقة عملية بناء الدهون بالمواد الكربوهيدراتية

- ومما يؤكد علاقة عملية بناء الدهون بالمواد الكربوهيدراتية أنه عند نضج البذور الزيتية فإن ذلك يتم بزيادة تركيز الزيت في البذور ويكون ذلك على حساب النقص في الماده الكربوهيدراتية وتبنى جزيئات الدهن في الكائنات الحية بتكاثف جزيء واحد من الجليسرول وهو (كحول ثلاثي الإيدروكسيل) مع ثلاثة جزيئات من نفس الحمض الدهنى كما هو الحال في البالمتين أو أحماض دهنية مختلفة ، والأغلب أن يكون جزيء الجليسرول مرتبطاً في جزيء الدهن بأحماض دهنية مختلفة ، ويطلق على هذا النوع من الدهون الجليسريدات الثلاثية (Triglycerides) وتتحدد نقطة الذوبان وبعض الخصائص الأخرى للجيسريدات الثلاثية بنوع الحمض الدهنى الموجود بها ، إذ كلما زاد عدد ذرات الكربون بالحمض إرتفعت نقطة الذوبان ، إلا أن وجود الرابطة الثنائية يخفض نقطة الذوبان .

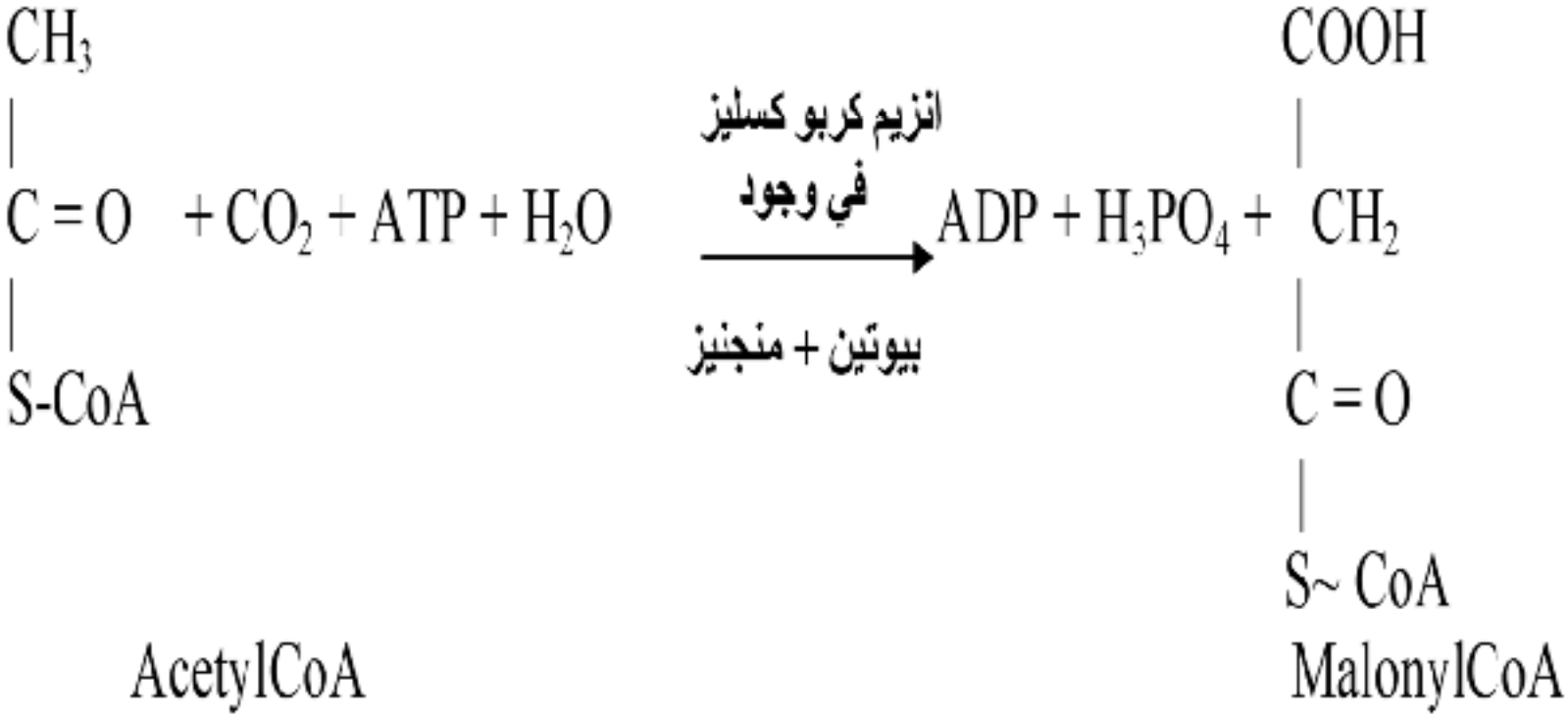
أ - بناء الجليسرول



داي هيدروكسي استون فوسفيت　　الفاجليسروفوسفيت　　جليسرول

ب- بناء الحمض الدهني

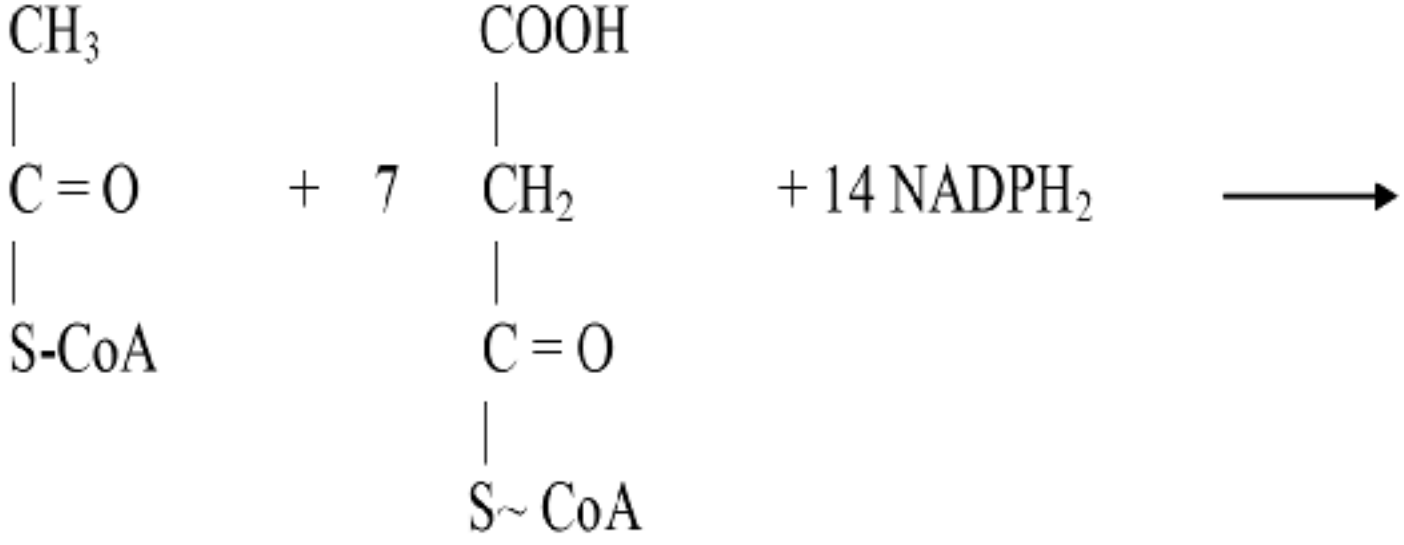
نادراً ما توجد الأحماض الدهنية حرة في الانسجة النباتية ويبدو أن ذلك يعزى لسرعة دخولها في بناء الدهن بمجرد بناؤها وتبنى الأحماض الدهنية من المركب خلات المرافق الإنزيمي(أ) المحتوي على ذرتين كربون (Acetyl – coenzyme A)



الخطوة التالية لهذا التفاعل تتم في عدة خطوات وتتعلق بإعادة دمج (المالونيل كو إنزيم أ) مع(الأستيل كوإنزيم أ) وكذلك مع حمض دهني وهو(الأسيل كوإنزيم أ) وبوجود القوة الإختزالية ليتكون في النهاية الحامض الدهني .

مثال:

تكوين الحامض الدهني حمض البالمتيك Palmitic acid



$$CH_3(CH_2)_{14}COOH + 7\,CO_2 + 8\,CoA\text{–}S\text{-}H + 14\,NADP + 6H_2O$$

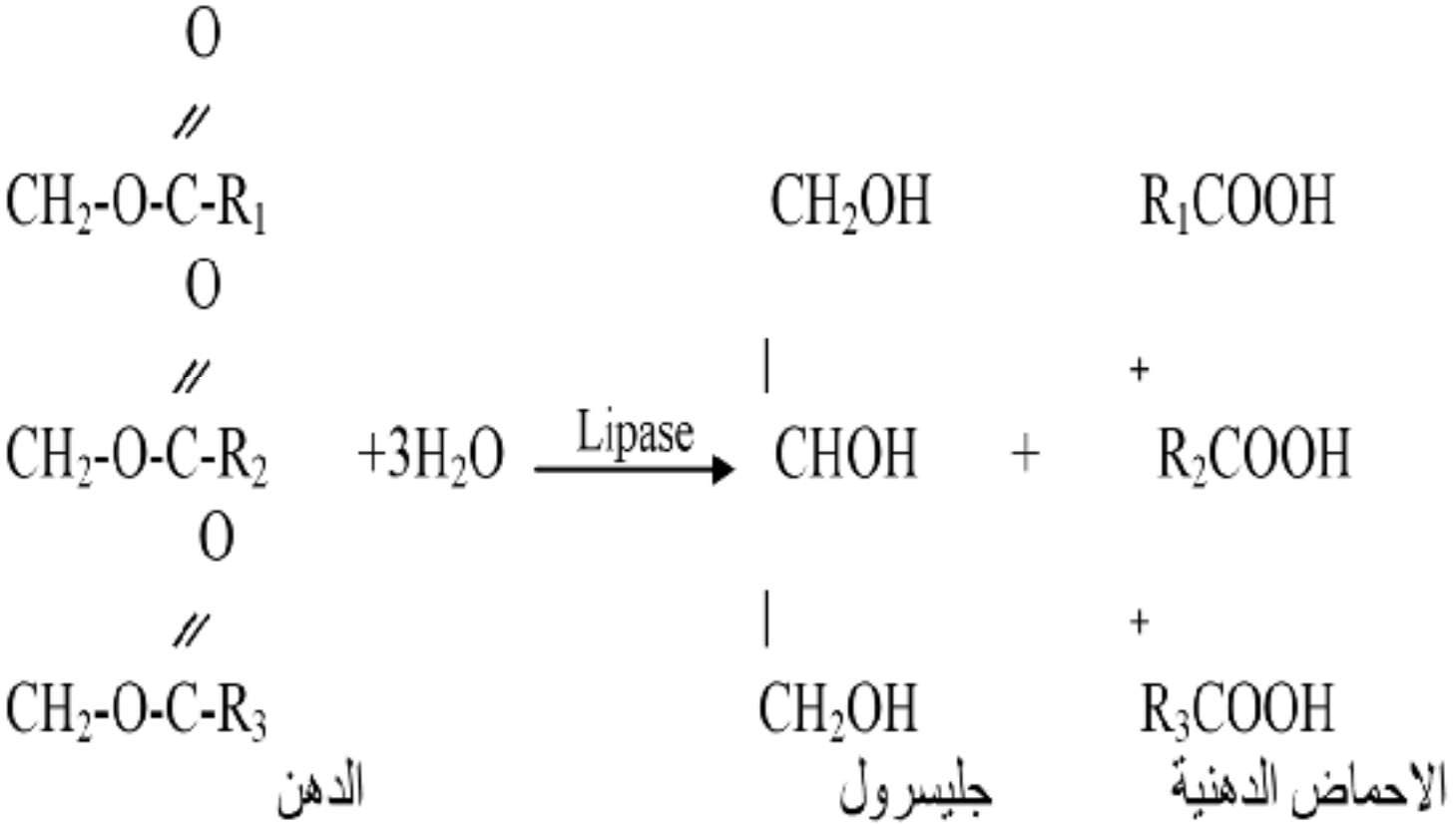
إن أربعة عشر ذرة كربون من أصل ستة عشر ذرة موجودة في حمض البالمتيك تأتي أصلاً من (المالونيل كو أ) من مجموعة الكربوكسيل أما ذرتي الكربون الأخيرتين فأصلها من(الأستيل كو أ)

مكان تكوين الدهون

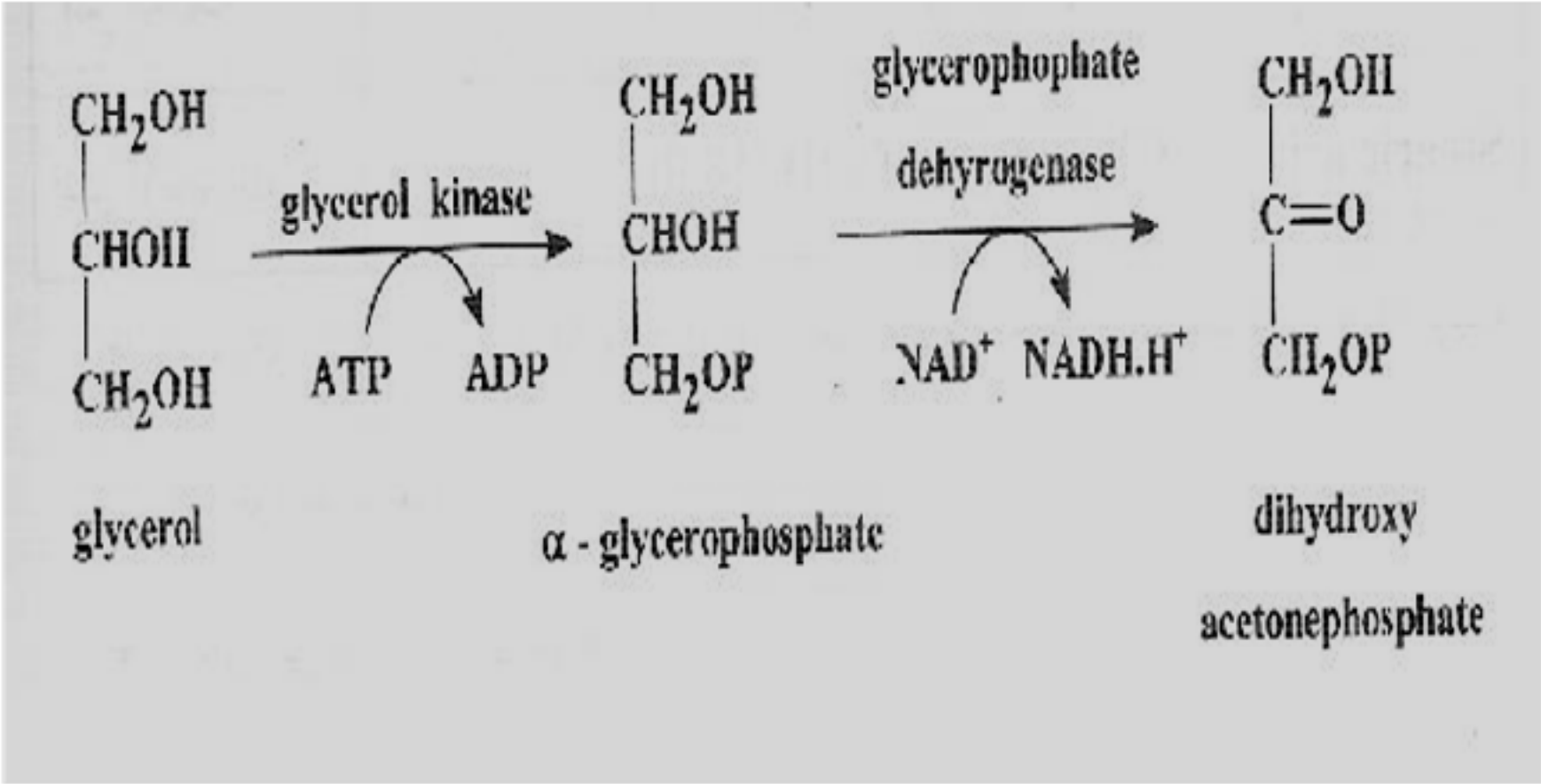
- اجريت عدة بحوث لتحديد مواقع تكوين الدهون (الليبيدات البسيطة) على مستوى الخلية فمثلاً في الثمار، ثمار الأفوكادو (Avocado) وجد أن الحامضيين الدهنيين وهما (الإستيرات، والبالمتيات) يتكونان في الميتوكوندريا ، أما في الأوراق فيظهر أن الكلوروبلاست هي المحل الرئيسي لتكوين الأحماض الدهنية . وقد وجد أن الضوء يحفز تكوين الزيوت بسبب توفير الطاقة من خلال مركب (ATP) والقوة الأختزالية من خلال مركب ($NADPH_2$) الضرورين لتكوين الزيوت .

هدم الدهون

عملية تحليل الدهون يسببها إنزيم الليبيز(Lipase) وفيها تتكسر روابط الأستر ويتكون نتيجة لذلك ثلاث أحماض دهنية والجليسرول .



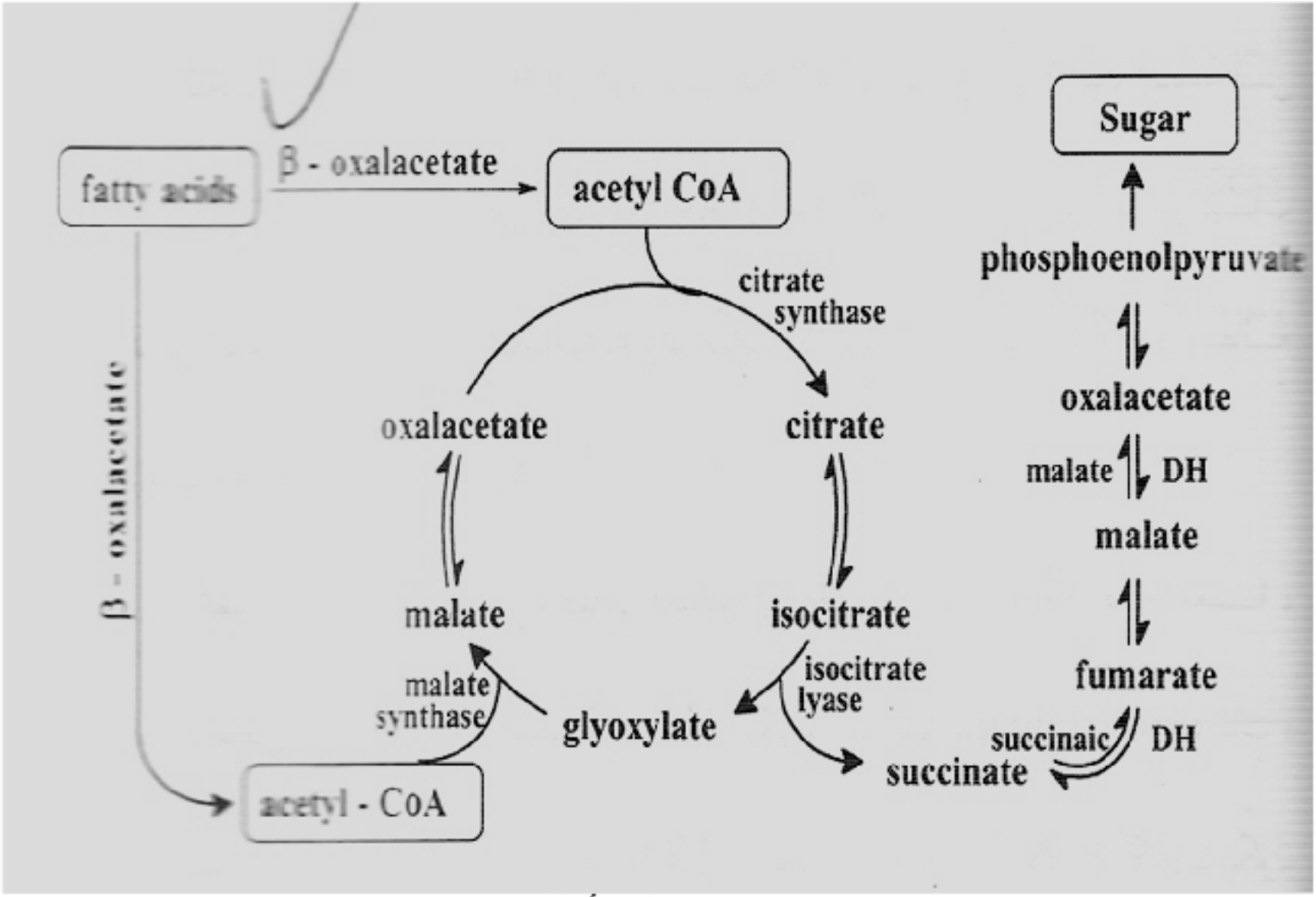
وبعد ذلك يتأكسد الجليسرول عن طريق المسار الجلايكولي ودورة كربس بعد فسفرته وتحولة ، في وجود ATP وانزيم جليسرول كينيز، إلي فوسفات الجليسرول ، وهذه تختزل إلى فوسفات الأسيتون ثنائي الهيدرو كسيل طبقا لما يلي:



- ومن جهة اخرى ، قد يتحول الجليسرول ، عن طريق المركب الوسطي نفسة (فوسفات الجليسرول) إلى كربوهيدرات .
- أما الأحماض الدهنية ، فإنها تتأكسد في الميتوكوندريا وفي الجليوكسيزومات إلى ($H_2O + CO_2$) ويصحب ذلك إنطلاق الطاقة في صورة المركب (ATP) والقوة الإختزالية ($NADH_2$) ولهذا تعد الدهون المخزونة في البذور مصدرا للطاقة أثناء الإنبات كما أن أكسدة الجليسرول تحرر كميات مناسبة من الطاقة على الرغم من أن أكثرية الطاقة تتحرر من أكسدة الأحماض الدهنية.
- وقد عرفت عمليتان ميكانيكيتان في النباتات لأكسدة الأحماض الدهنية في النباتات الراقية وقد سميت إحداهما وهي الأولى (مسار بيتا للأكسدة) أما الثانية فسميت (مسار- ألفا للأكسدة) .

تحول الدهون الى كربوهيدرات – دورة الجلايوكسيلات Conversion of fats to carbohydrates – The gyoxylate cycle

- في بعض الأنسجة النباتية وفي البكتريا والفطريات ، فإن المخزون بها من دهون يمكن أن يتحول سريعاً إلى سكروز وغيره من الكربوهيدرات وإلى بروتينات ومركبات أخرى عن طريق دورة الجلايوكسيلات – التي تعتبر تعديلاً لدورة كربس – والذي ينطوي اساساً على تخطى تفاعلات انتاج CO_2. فدورة كربس هي ، بصفة اساسية ، آلية لهدم الخلات إلى ماء وثاني اكسيد الكربون . أما دورة الجلايوكسيلات، فتحتفظ بكربون الخلات حيث يتم تحويل مجموعتي استيل الى حمض رباعي الكربون (Succinate) بحيث يصبح متاحا لعمليات بنائية مختلفة . وفيما يلي بيان تخطيطي لتفاعلات الدورة والتي توضح كيفية تحول الدهون الى سكريات ٠



دورة الجلايوكسيلات . تحول الأحماض الدهنية إلى سكر .

بعض العمليات الحيوية المتعلقة بالكبريت

- ***<u>وجود الكبريت</u>***
- يوجد الكبريت في التربة ، بالشكل العضوي والغيرعضوي. والجزء الغير عضوي يتمثل بالكبريتات(SO^{-2}_4) التى تتجمع في المناطق القاحلة بشكل
- $CaSO_4$, $MgSO_4$, Na_2SO_4 بينما في المناطق الرطبة
- توجد الكبريتات في محلول التربة أو ملتصقة على دقائق التربة الغروية
- والجزء العضوي من الكبريت الموجود في التربة يمكن تقسيمه إلى قسمين هما الكبريت المرتبط بالكربون والكبريت الغير مرتبط بالكربون ويمكن أن يتحول الجزء العضوي إلى الشكل المتوفر للنبات بفعل الأحياء المجهرية وفي هذه العملية فإن H_2S^1 المتكون تحت الظروف الهوائية يعاني الأكسدة الذاتيه متحولاً الى الكبريتات .

أما في الظروف غير الهوائية فإن H_2S قد يتأكسد إلى عنصر الكبريت بواسطة البكتريا التى تتنفس الكبريتات وهذه البكتريا نفسها يمكن أن تؤكسد الكبريت إلى حامض كبريتك H_2SO_4 تحت الظروف الهوائية ويمكن كتابة المعادلة كالتالي :

$$2H_2S + O_2 \longrightarrow 2H_2O + 2S$$

$$2S + 3\,O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2H_2SO_4$$

ويذكر أن H_2SO_4 الناتج يزيد من حموضة التربة كما أن الشيء نفسه يحدث عند إضافة الكبريت للتربة لغرض خفض الـ PH في التربة القلوية .

اهمية الكبريت:.

١ -يشترك الكبريت في تركيب بعض الأحماض الأمينية كاالسستئين

$HSCH_2$- CH- COOH (Cysteine)
|
NH_2

CH_3S CH_2CH_2- COOH (Methunine)
|
NH_2

٢ -يدخل الكبريت في تركيب بعض المرافقات الإنزيمية مثل (Coenzyme A) المشتركة في عملية التنفس .

٣ -يدخل الكبريت في تركيب بعض الفيتامينات مثل البيوتين (Biotin) والثيامين (Thiamin) .

٤ -يدخل الكبريت في تركيب بعض البروتينات الحيوية مثل (Ferredoxins) المهمة في التركيب الضوئي وتثبيت النيتروجين وإختزال النترات .

٥ -يلعب الكبريت دوراً في تكوين الكلورفيل على الرغم من عدم اشتراكه في تركيب الكلورفيل.

٦ -يدخل في تركيب مكونات بعض الزيوت التى تعطي الصفات الحريفة في البصل والثوم والفجل.

إمتصاص الكبريت وانتقاله في النبات

- تمتص جذور النبات الكبريت بشكل أيونات الكبريتات(SO_4) ويظهر أن إمتصاص الكبريتات لا يتأثر كثيراً بحموضة التربة (pH) كما وجد أن بقية مغذيات النبات قلما تؤثر على إمتصاص الكبريتات ومع هذا فإن بعض المركبات القريبة الشبه من الكبريتات قد تقلل إمتصاص الكبريتات مما يشير إلى حدوث تنافس بينهما على المواقع الفعالة نفسها في الحامل وأن إمتصاص الكبريتات يحدث بصورة حيوية.
- هذا وتستطيع النباتات أن تأخذ كمية قليلة من الكبريت بشكل(SO_4) عن طريق أوراق النباتات النامية في المناطق الصناعية أو عندما تجهز النباتات بغاز (SO_4) بصورة تجريبية ولكن زيادة نسبة(SO_4) في الجو تسبب قلة نمو النبات . إن الكبريتات الممتصة تنتقل إلى أعلى النبات بصورة علوية في الأوعية الخشبية بتأثير النتح أما قدرة النباتات الراقية على نقل الكبريتات سفلياً فتعد واطئة.

إختزال الكبريتات وتمثيلها

عملية إختزال(SO_4) إلى أيون السلفايد (S^{-2}) يحتاج إلى طاقة والمعادلة العامة التالية تشير إلى إختزال الكبريتات إلى السلفايد.

$$SO_4^{-2} + 8\ electrons + 8\ H \xrightarrow{energy} S^{-2} + 4H_2O$$

ويحدث إختزال الكبريتات في الأوراق.
والحقيقة أن المعلومات المتعلقة بإختزال الكبريتات قليلة والمتوفر منها حالياً أخذ من البحوث التى أجريت على الأحياء الدقيقة كالخمائر والبكتريا

إختزال الكبريتات وتمثيلها

ويظن أن خطوات إختزال الكبريتات تشمل التالي:.

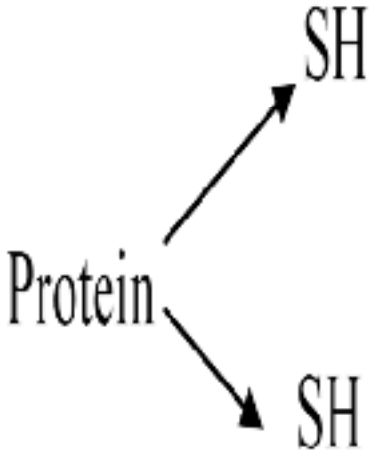
١) تنشط الكبريتات بمساعدة (ATP) وإنزيم (Sulfurylase) وتكوين المركب اداينوسين فوسفوسلفيت (Adenosine phosphosulfate)

$$ATP + SO^{-2}_{4} \longrightarrow APS + P\text{-}P$$

٢) وبمساعدة إنزيم (APS Kinase) والطاقة يتكون المركب
Phospho adenosine phospho sulfate

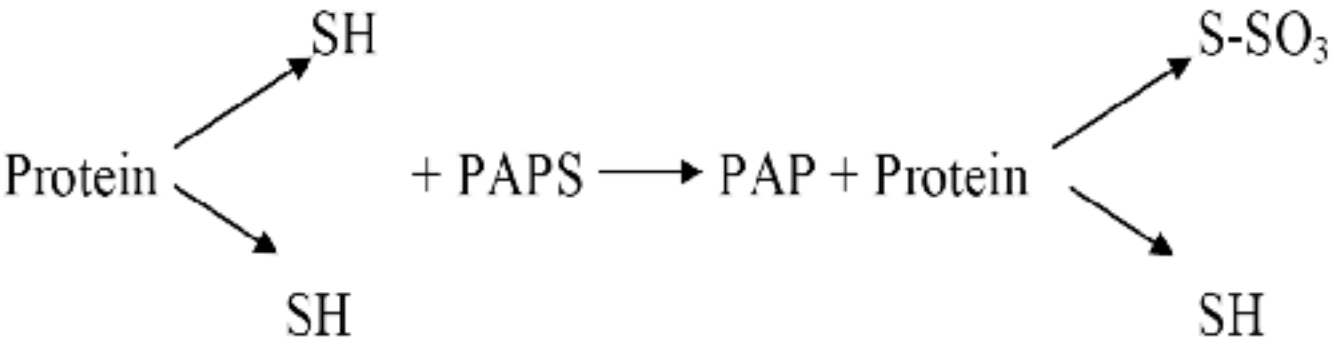
$$APS + ATP \longrightarrow ADP + PAPS$$

٣) يوجد بروتين ذو وزن جزيئي صغير يسمى (Protein Cofactor) بشكل مؤكسد وبشكل مختزل ومصدر الإلكترونات المختزلة لهذا العامل هو ($NADH_2$) أو ($NADPH_2$)، وهذا البروتين هو

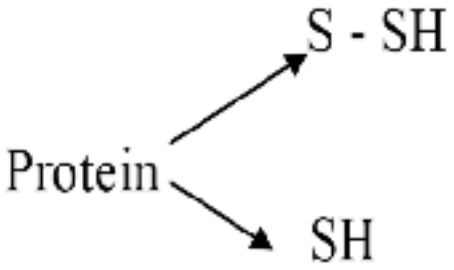


الصورة المختزله

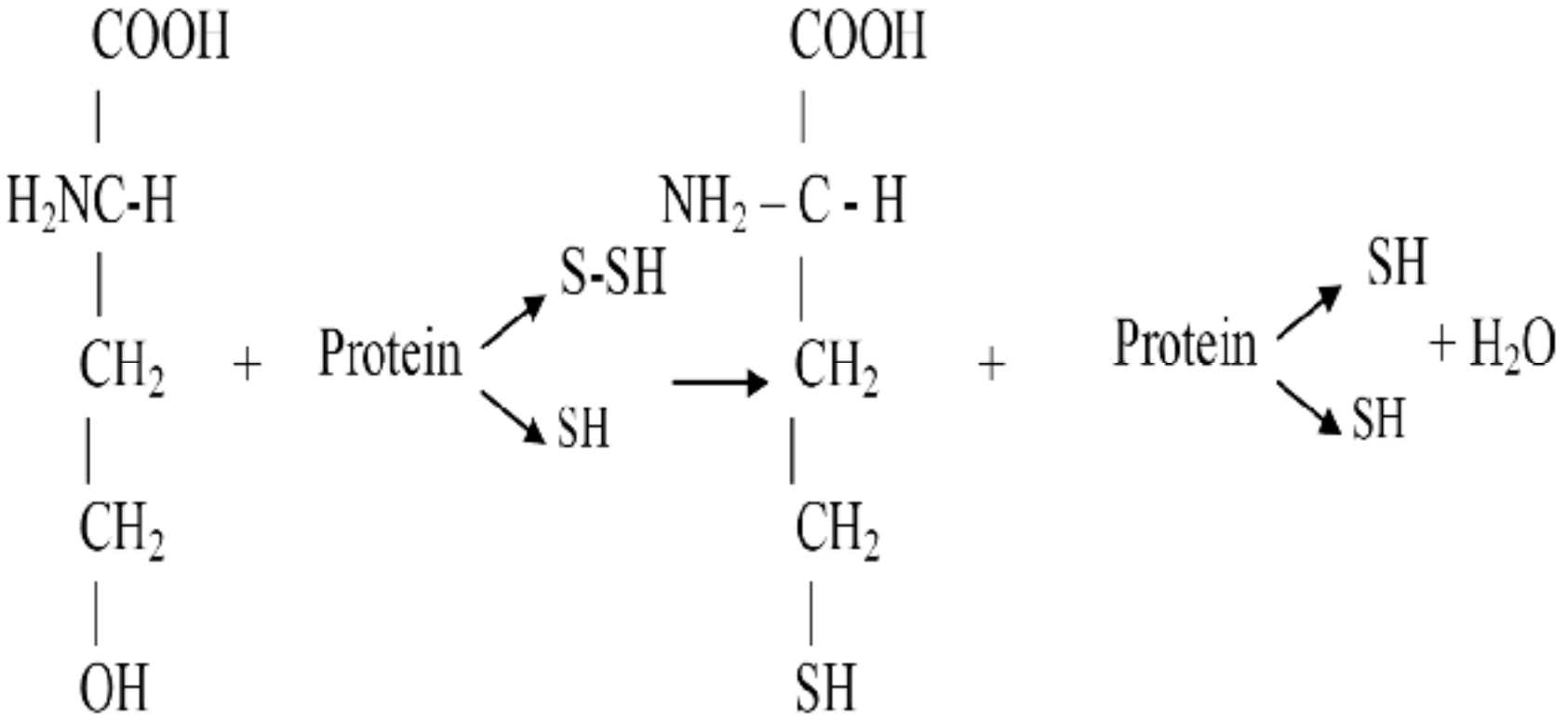
) الـ (Protein Cofactor) يختزل مادة (PAPS) بمساعدةإنزيم (PAPS Reductase) ويتحول إلى (Protein Thiosulfate)



٥) إن هذا المركب (Protein Thiosulfate) سام جداً ولذلك يختزل بسرعة بواسطة ($NADPH_2$) بمساعدة الإنزيم (Sulfite Reductase) ويتحول إلى



) ثم يمكن أن ينقل بعد ذلك أيون السلفايد إلى أحد المركبات العضوية ليكون الحمض الأميني السستيين أو الهيمو سستيين.



نقص الكبريت

- يندر أن تظهر أعراض نقص الكبريت على النبات لتوفره في التربة وفي حالة نقصه تظهر أعراض نقص مشابهة لأعراض نقص النيتروجين المتمثلة بإصفرار النبات وصغر حجمه وفي هذه الحالة تضاف كبريتات الكالسيوم للتربة أو ترش الأوراق بمحلول كبريتات الحديدوز .